

第 31 回

殺菌剤耐性菌研究会シンポジウム 講演要旨集

Abstracts of the 31th Symposium
of Research Committee on Fungicide Resistance

2022 年 3 月 30 日
オンライン開催

March 30, 2022

日本植物病理学会

The Phytopathological Society of Japan

日本植物病理学会
第 31 回殺菌剤耐性菌研究会シンポジウム

《プログラム》

- | | |
|-------------|--|
| 10:00 | 開 会 |
| 10:05-10:45 | 薬剤抵抗性病害虫の発生状況と対策の取組について
岡田 和秀（農林水産省 消費・安全局 植物防疫課 防疫対策室） |
| 10:45-11:25 | IPM を基盤とした薬剤抵抗性管理の実践を！
（農林害虫防除研究会（殺虫剤抵抗性対策タスクフォース）とのコラボレーション企画）
山本 敦司（農林害虫防除研究会常任幹事、日本曹達株式会社） |
| 11:25-12:05 | 東北地域のタマネギ腐敗性病害の病原細菌とその薬剤耐性について
達 瑞枝（東北農業研究センター 畑作園芸研究領域） |
| 12:05-13:05 | <昼食休憩> |
| 13:05-13:15 | 研究会会計および幹事会活動報告 |
| 13:15-13:55 | 新規殺菌剤ピジフルメトフェン（ミラビス®）の作用特性と感受性検定
谷口 しづく（シンジェンタジャパン株式会社） |
| 13:55-14:45 | 宮城県におけるダイズ紫斑病 QoI 剤耐性菌発生状況について
宮野 法近（宮城県古川農業試験場 作物環境部）
秋田県におけるダイズ紫斑病の薬剤耐性菌の動向
渡辺 恭平（秋田県農業試験場 生産環境部） |
| 14:45-15:25 | イネばか苗病菌のペフラゾエートに対する感受性低下とその後の対応策
松本 純一（兵庫県立農林水産技術総合センター 農業技術センター） |
| 15:45 | 閉 会 |

薬剤抵抗性病害虫の発生状況と対策の取組について

Status and countermeasures for pesticide-resistant pests in Japan

農林水産省消費・安全局植物防疫課防疫対策室

岡田 和秀

Kazuhide Okada · Plant Protection Division, Food Safety and Consumer Affairs Bureau,
Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (MAFF) · 1-2-1 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo,
100-8950, Japan

Abstract

While the use of chemical pesticides is the basis of the most effective pest and weed control, the development of pesticide resistance in pests and weeds is an inseparable issue, and it is important to conduct the control. With this background, prefectural governments have been taking the lead in identifying the development of pesticide resistance by conducting pesticide susceptibility tests and providing appropriate pest control guidance to producers based on the test results.

However, it is becoming more apparent that pests and weeds are becoming resistant. In order to properly manage pesticide-resistant pests and weeds, it is important to detect the occurrence of pesticide-resistant pests and weeds as early as possible and take necessary measures. In addition, it is necessary to take measures to prevent the emergence of pesticide-resistant pests and weeds even they are not present. It is essential to provide producers with information such as classification of mechanisms of function and risk of introducing pesticide resistance.

In this paper, we introduce the cases of pesticide-resistance management based on the susceptibility test by the prefectural governments as an approach to monitoring and utilization of the results, which are essential for appropriate pesticide-resistance management. Moreover, we introduce an outline of the survey on a national scale for pesticide-resistant pests and weeds regarding occurrence status of these pests and weeds in Japan.

1. はじめに

化学農薬の使用は病害虫・雑草防除の根幹である一方で、病害虫・雑草の薬剤抵抗性の発達が切り離せない課題であり、その管理が重要となる。このような背景のもと、都道府県が主体となり、薬剤感受性検定の実施による薬剤抵抗性の発達状況の把握や、検定結果に基づく生産者への適切な防除指導が行われてきた。例えば、多くの都道府県において、普及指導員などが生産者に対して病害虫・雑草防除の指導を行う際に使用される「防除指針」が作成されているが、その中にも薬剤抵抗性に関する情報、それに基づく農薬使用上の注意事項等が記載され、適切な防除指導に役立てられてきた。

しかしながら、薬剤抵抗性を獲得した病害虫や雑草（以下「薬剤抵抗性病害虫・雑草」という。）がますます顕在化している。薬剤抵抗性病害虫・雑草を適切に管理していくためには、薬剤抵抗性病害虫・雑草の発生を可能な限り早期に発見し、必要な対策を講じることが重要となる。加えて、薬剤抵抗性病害虫・雑草が発生していない時から薬剤抵抗性病害虫・雑草を発生させない対策に取り組むことが必要であり、そのためには薬剤抵抗性病害虫・雑草の発生情報を、作用機構分類や薬剤耐性の発生リスクと

いった情報と合わせて生産者に提供することが重要となる。

本講演においては、適切な薬剤抵抗性管理に必須となるモニタリングとその結果の活用の取組として、都道府県による薬剤感受性検定に基づく薬剤抵抗性管理の事例について、また、国内の薬剤抵抗性病害虫・雑草の発生状況に関して、全国薬剤抵抗性病害虫・雑草発生状況調査の概要について紹介したい。

2. 薬剤感受性検定に基づく薬剤抵抗性管理

(1) 発生予察事業

発生予察事業は、病害虫の発生状況、気象、作物の生育状況等に関する調査を実施し、調査結果の解析に基づく病害虫のその後の発生予測を防除対策と合わせて農業生産者を含めた関係者に提供するものである。都道府県では、本事業の一環として薬剤感受性検定を実施しており、その結果は国へ報告されるとともに、この情報に基づいた県内の指導者・生産者への指導を通じて、農業生産現場における適切な防除の実践へとつなげている。

(2) 薬剤感受性検定の実施状況

平成 27 年度以降の各都道府県の報告を基に、薬剤感受性検定の実施状況を整理し、各年度の検定実施件数の推移を図 1 に示した。年による変動が見られるが、平成 27 年度から令和元年度までの報告件数を平均すると 587 件となり、1 都道府県あたり平均年 12 件が報告されている。報告件数の内訳は、各年度とも殺虫剤がおおよそ 4 分の 3、殺菌剤がおおよそ 4 分の 1 となっている。

各都道府県で検定が行われる病害虫の種類は年によって異なるが、害虫ではハダニ類（ナミハダニ、ミカンハダニ）、ヨトウムシ類（シロイチモジヨトウ、ハスモンヨトウ）、アザミウマ類（ミカンキイロアザミウマ、ネギアザミウマ、ミナミキイロアザミウマ）、コナガ、トビイロウンカ、病害では野菜類及び花卉類の各種灰色かび病の報告件数が毎年上位を占める。殺虫剤の“サブグループあるいは代表的有効成分”（農薬工業会ホームページ掲載の「IRAC コード分類表」参照）別では、ネオニコチノイド系、アベルメクチン系/ミルベマイシン系、ジアミド系、スピノシン系、 β -ケトニトリル誘導体、ピレスロイド系/ピレトリン系、ピロール系/ジニトロフェノール系/スルフルアミドが多く、殺菌剤の“グループ名”（農薬工業会ホームページ掲載の「FRAC コード分類表」参照）別では、QoI 殺菌剤、DMI 殺菌剤、SDHI 殺菌剤、MBC 殺菌剤が多い。これらの報告件数の多い病害虫及び化学農薬グループは、次に示す全国薬剤抵抗性病害虫・雑草発生状況調査において、抵抗性の報告事例が多いものとなっている。平成 28 年に都道府県に対して薬剤感受性検定の実施対象に関するアンケート調査を実施したところ、産地で薬効の低下が疑われる農薬や病害虫のほかに、薬剤耐性/抵抗性の発達リスクが高い農薬や病害虫、他の都道府県や試験研究等で薬剤感受性低下が報告されている農薬や病害虫等を対象にしているとの回答が得られていることから、都道府県では、薬剤抵抗性病害虫・雑草の早期発見のため、薬剤抵抗性病害虫・雑草の発達リスクに応じた検定が実施されていると考えられる。

(3) 薬剤感受性検定の結果の活用

薬剤感受性検定の結果は、ホームページでの公表、病害虫発生予報への掲載、各種病害防除対策会議での報告等を通じて情報提供されている。また、検定結果に基づく防除指導のために、防除指針への反映、防除暦の掲載薬剤に関する関係者との協議等の取組が行われている。

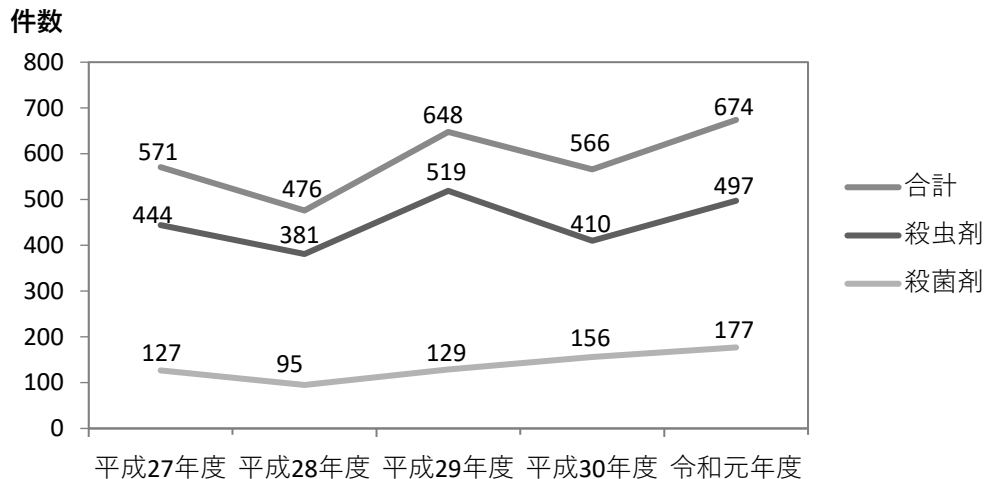


図1 感受性検定の実施件数（農薬種類別）※

※個別農薬名の記載が無く、農薬の作用性グループでまとめた報告の場合も1件として数えた。

3. 全国薬剤抵抗性病害虫・雑草発生状況調査

植物防疫課では、都道府県における薬剤抵抗性病害虫・雑草の発生状況や防除指導等の実態把握を行うため、平成23年度から25年度及び平成28年度に都道府県の協力のもと全国薬剤抵抗性病害虫・雑草調査を実施した。続いて、令和2年度に当該調査を4年振りに実施した。ここでは、令和2年度の調査結果を中心に説明する。平成23～25年度、平成28年度の結果については、白石（2017）（参考文献①）を参照いただきたい。

（1）報告事例数の推移

平成23～25年度、平成28年度、令和2年度の各年度における薬剤抵抗性病害虫・雑草の報告事例数を図2に示した。年度間で取りまとめ要領が若干異なり、また、統計的な調査ではなく、あくまでも報告事例数であるため、これをもって薬剤抵抗性病害虫・雑草が増えているとまでは言えないが、少なくとも薬剤抵抗性病害虫・雑草への関心の高まりはあると考えられる。

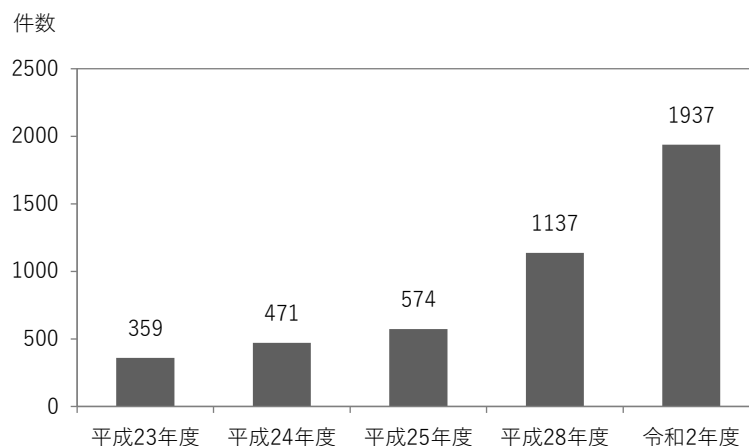


図2 薬剤抵抗性の報告事例数※

※全ての報告から、「感受性低下は認められていないものの、モニタリング調査などにより薬剤抵抗性の発達を経過観察している場合（フェーズ0）」を除き、「都道府県・作物・病害虫・雑草・農薬（作用機構）」を1件として集計した。

(2) 令和2年度の報告事例の内訳

① 作物別、病害虫・雑草種別

殺虫剤、殺菌剤、除草剤ごとに、作物別の事例数の上位及びそれらの作物の病害虫・雑草種別の内訳を表1に示した。作物別では、総じて、いちご、水稻、トマト、きゅうりの事例数が多くなっている。害虫別では、いちご、なしのナミハダニ、きゅうり、なすのミナミキイロアザミウマが多く、病害では、トマト、いちごの灰色かび病、水稻のいもち病が多い。雑草では、水稻に関する報告がほとんどで、ホタルイ類、アゼナ類、コナギが多くなっている。

表1 作物別、病害虫・雑草種別の報告事例数

1) 殺虫剤（上位10作物）

	報告事例数	作物名	害虫種別の内訳
1	174	いちご	ナミハダニ111, ヒラズハナアザミウマ26, ミカンキイロアザミウマ14, オンシツコナジラミ8, ハダニ類8, モモアカアブラムシ2, ハスモンヨトウ2, ミナミキイロアザミウマ1, ワタアブラムシ1, ヒラズアザミウマ1
2	91	ねぎ	ネギアザミウマ45, シロイチモジヨトウ44, ネギハモグリバエ1, ネダニ類1
2	91	きゅうり	ミナミキイロアザミウマ62, タバココナジラミ11, ナミハダニ5, ワタアブラムシ4, オンシツコナジラミ3, ミカンキイロアザミウマ2, ヒラズハナアザミウマ1, アザミウマ類1, ワタヘリクロノメイガ1, ハスモンヨトウ1
4	74	なし	ナミハダニ66, カンザワハダニ3, クワオオハダニ2, ワタアブラムシ1, リンゴコカクモンハマキ1, チュウゴクナシキジラミ1
5	65	トマト	タバココナジラミ35, オンシツコナジラミ17, ミカンキイロアザミウマ6, ハスモンヨトウ3, モモアカアブラムシ2, タバココナジラミ類2
6	63	きく	ミカンキイロアザミウマ38, ヒラズハナアザミウマ7, ナミハダニ6, ミナミキイロアザミウマ6, クロゲハナアザミウマ4, ネギアザミウマ1, シロイチモジヨトウ1
6	63	なす	ミナミキイロアザミウマ42, ナミハダニ11, ハスモンヨトウ5, タバココナジラミ3, タバココナジラミ類2
8	60	水稻	ヒメトビウンカ21, イネドロオイムシ（イネクビホソムシ）16, トビイロウンカ14, アカヒゲホソミドリカスミカメ3, セジロウンカ3, コブノメイガ2, コシイナゴ1
9	45	キャベツ	コナガ33, シロイチモジヨトウ10, ハスモンヨトウ2
10	40	みかん	ミカンハダニ36, ミカンサビダニ2, ミカンキイロアザミウマ2

2) 殺菌剤（上位10作物）

	報告事例数	作物名	病害種別の内訳
1	121	トマト	灰色かび病92, 葉かび病25, すすかび病4
2	96	水稻	いもち病70, もみ枯細菌病11, ばか苗病7, 褐条病7, Pythium 属菌による苗立枯病1
3	85	いちご	炭疽病40, 灰色かび病35, うどんこ病10
4	71	きゅうり	褐斑病39, うどんこ病18, べと病8, 灰色かび病6
5	55	ぶどう	べと病28, 褐斑病12, 晩腐病11, 芽枯病2, 灰色かび病2
6	33	りんご	黒星病13, 褐斑病9, 斑点落葉病6, 炭疽病3, うどんこ病2
7	26	なし	黒星病17, 炭疽病4, 黒斑病2, 赤星病2, 紅粒がらんしゅ病1
8	18	なす	すすかび病11, 灰色かび病6, 黒枯病1
9	14	だいず	紫斑病14
10	6	小麦	うどんこ病3, 赤かび病2, 眼紋病1

3) 除草剤（上位 5 作物）

	報告事例数	作物名	雑草種別の内訳
1	90	水稻(移植)	ホタルイ類23, アゼナ類22, コナギ18, オモダカ12, ミゾハコベ3, ウリカワ2, タイヌビエ1, ミズアオイ1, キクモ1
		水稻(移植、直は)	ホタルイ類1, アゼナ類1, コナギ1, オモダカ1, アゼトウガラシ1
		水稻(直は)	コナギ1, ネズミムギ1
2	4	水田畦畔	ネズミムギ2, オヒシバ2
3	3	小麦	ネズミムギ2, スズメノテッポウ1
4	2	なし	ネズミムギ2
5	1	大麦	スズメノテッポウ1
5	1	麦類	スズメノテッポウ1
5	1	さとうきび	オヒシバ1

② RAC コード（農薬の作用機構分類）別

殺虫剤、殺菌剤、除草剤の RAC コード別（農薬工業会ホームページ「RAC コード（農薬の作用機構分類）」（参考文献②）参照）の事例数を表 2 に示した。殺虫剤では、4A（ネオニコチノイド系）、28（ジアミド系）、6（アベルメクチン系/ミルベマイシン系）の順に事例数が多く、殺菌剤では、11（QoI 殺菌剤）、1（MBC 殺菌剤）、3（DMI 殺菌剤）の順に多い。除草剤では、2（スルホニルウレア（SU）系）に関する報告事例がほとんどとなっている。

表 2 RAC コード別の報告事例数

1) 殺虫剤

IRAC コード	殺虫剤系統名（サブグループ）	報告 事例数	IRAC コード	殺虫剤系統名（サブグループ）	報告 事例数
4A	ネオニコチノイド系	202	16	ブプロフェジン	10
28	ジアミド系	109	10A	クロフェンテジン/ジフロビダジン/ヘキシチアゾクス	10
6	アベルメクチン系/ミルベマイシン系	99	14	ネライストキシン類縁体	9
3A	ピレスロイド系/ピレトリン系	96	22B	セミカルバゾン系	9
25A	β -ケトニトリル誘導体	79	29	フロニカミド	7
5	スピノシン系	78	11A	<i>Bacillus thuringiensis</i> と生産殺虫タンパク質	6
21A	METI 剤	74	12B	有機スズ系殺ダニ剤	5
13	ピロール系/ジニトロフェノール系/スルフルアミド	68	12C	プロパルギット	4
1B	有機リン系	56	19	アミトラズ	4
UN	（作用機構が不明あるいは不明確な剤）	43	22A	オキサジアジン系	4
15	ベンゾイル尿素系	36	12D	テトラジホン	4
20D	ビフェナゼート	34	34	フロメトキン	4
10B	エトキサゾール	28	7C	ピリプロキシフェン	2
2B	フェニルピラゾール系(フィプロール系)	28	20C	フルアクリピリム	1
20B	アセキノシル	26	30	メタジアミド系/イソオキサゾリン	1
1A	カーバメート系	25		合計	1233
25B	カルボキサニリド系	23			
9B	ビリジン アゾメチン誘導体	19			
23	テトロン酸およびテトラミン酸誘導体	17			
18	ジアシルヒドラジン系	13			

2) 殺菌剤

FRAC コード	殺菌剤グループ名	報告 事例数
11	QoI 殺菌剤(Qo 阻害剤)	211
1	MBC 殺菌剤(メチルベンゾイミダゾール カーバメート)	121
3	DMI 殺菌剤(脱メチル化阻害剤)(SBI:クラ スI)	62
7	SDHI(コハク酸脱水素酵素阻害剤)	44
10	N-フェニルカーバメート類	43
2	ジカルボキシイミド類	29
16.2	MBI-D(メラニン生成阻害剤/脱水酵素)	29
31	カルボン酸類	14
9	AP 殺菌剤(アニリノピリミジン類)	13
25	グルコピラノシル抗生物質	8
24	ヘキソピラノシル抗生物質	6
4	PA 殺菌剤(フェニルアミド類)	5
12	PP 殺菌剤(フェニルピロール類)	5
19	ポリオキシシン類	4
50	アリルフェニルケトン類	1
29	(2,6-ジニトロアニリン類)	1
6	ホスホロチオレート類/ジチオラン類	1
17	KRI-殺菌剤(ケト還元酵素阻害剤)(SBI:クラ スIII)	1
U13	チアゾリジン	1
M7	ビスグアニジン類(細胞膜攪乱剤、界面活性 剤)	1
M3	ジチオカーバメート類及び類縁体(求電子 剤)	1
未記入		1
	合計	602

3) 除草剤

HRAC コード	除草剤化学グループ名	報告 事例数
2	スルホニルウレア	80
9	グリシン	7
2	スルホンアニリド	6
2	トリアゾピリミジン(タイプ2)	4
10	ホスフィン酸	3
1	アリーールオキシプロピオン酸エステル (FOPs)	1
3	ジニトロアニリン	1
	合計	102

(3) 発生状況に基づく薬剤抵抗性管理の推進

本調査において報告事例の多い病害虫や報告事例の多い作用機構を有する農薬は薬剤抵抗性リスクが高いと考えられ、モニタリングの実施や発生状況に応じた対策を進める必要がある。一方、代替可能な農薬・技術がない、又は、既存の代替農薬・技術に何らかの問題があるなど有効な対策が確立されていない場合は、報告事例が多く薬剤抵抗性が顕在化している場合はもちろんのこと、報告事例が少ない場合も薬剤抵抗性の顕在化に備えて、新たに代替農薬・技術の確立を検討する必要がある。本調査では、新たな代替農薬・技術の確立の必要性が高い事例を抽出する目的で、各事例について取組の緊急性を尋ねたところ、121 事例で緊急性があるとの回答があった。その中で、複数の都道府県から緊急性があると回答があった作物・病害虫の組合せを表3にまとめた。これらの事例の多くで、効果の高い代替剤がない、代替技術の効果が低いとのコメントがなされている。また、イネばか苗病については、現行の農薬の作用機構が限定されることが指摘されている。こうした事例を中心に、新たな代替農薬・技術の確立が求められている。

表3 複数の都道府県から代替技術の確立の取組に緊急性があると回答のあった作物・病害虫の組合せ

1) 殺虫剤

作物名	害虫名	主なコメント	IRAC コード※1
ねぎ	ネギアザミウマ	- ローテーション散布が未確立 - 現行の防除体系は労力がかかる - 卓効が見込める薬剤が不明	1A, 1B, 3A, 4A, 5, 6, 13, 14, 21A, 29, UN
きゅうり、なす	ミナミキイロアザミウマ	- 代替技術（天敵）の導入コストが高い - ローテーション散布ができるほど、効果が高く、使用可能な剤がない	1A, 1B, 2B, 3A, 4A, 5, 6, 7C, 13, 15, 21A, 28, UN
きゅうり、トマト、ピーマン、メロン	タバココナジラミ	- 効果の高い剤がない - 大規模経営に対応するため、常温煙霧処理などの開発・普及が必要	1A, 1B, 3A, 4A, 5, 6, 9B, 21A, 15, 16, 28, 29
いちご、すもも、ぶどう、りんご	ナミハダニ	- 有効な薬剤に限られる - 代替薬剤が少なく、対策技術も確立されていない - 天敵導入において、天敵に影響がなく効果の高い薬剤が少ない	1B, 3A, 6, 10A, 10B, 12B, 12C, 12D, 13, 15, 20B, 20D, 21A, 23, 25A, 25B, UN

※1 本調査で当該害虫に抵抗性が報告されている薬剤の RAC コード

2) 殺菌剤

作物名	病害名	主なコメント	FRAC コード※2
水稻	ばか苗病	- 有効な防除剤は同一グループのみ - 化学農薬以外の防除手段は効果が低い不安定	1, 3
水稻	もみ枯細菌病	- 効果の高い代替剤がない - 化学農薬以外の防除手段は効果が低い不安定	24, 31
なし	黒星病	- 代替剤の選択肢が少ない - 代替技術が確立されていない	1, 3, 9
りんご	黒星病	効果の高い代替剤がない	3, 11
ぶどう	晩腐病	効果の高い代替剤がない	1, 3, 7, 11

※2 本調査で当該の作物・病害の組合せに抵抗性が報告されている薬剤の RAC コード

4. おわりに

平成 27 年に都道府県に対して、今後の薬剤抵抗性対策において何が必要かアンケート調査を実施したところ、全国 47 都道府県から「薬剤感受性検定結果に関する情報共有体制は重要である」との回答があったことから、都道府県間における情報共有の重要性は共通認識となっている。当省では、これまで薬剤感受性検定や全国薬剤抵抗性病害虫・雑草発生状況調査の結果の共有等を行ってきたが、引き続き、現場での病害虫・雑草防除指導に活用されるよう、情報共有体制の強化に取り組む必要があると考えている。

また、同アンケート調査では、薬剤感受性検定の課題として、薬剤ごとの検定方法や評価方法についての情報が不足していることや、都道府県担当機関の人員不足による検定対応の難しさ等が挙げられた。都道府県では、産地の実態や周辺地域の状況を踏まえた薬剤感受性検定が実施されているが、人員が不足している中で手間と時間をかけずに済む簡便な検定手法の開発が期待されている。このため、農林水産省では、令和 2 年度から消費・安全対策交付金により、現場で使用できる簡便・迅速な薬剤感受性検定方法の確立及び薬剤抵抗性のモニタリング手法や判断基準の確立についての支援を開始した。引き続き、課題解決のための支援を継続するとともに、事業で得られた成果について情報共有を進めたい。

なお、本年 5 月に当省で策定した「みどりの食料システム戦略」では、食料・農林水産業の生産力向上と持続性の両立をイノベーションで実現することを目指しており、関連する取組として、化学農薬のみに依存しない総合的病害虫管理の推進や主要病害に対する抵抗性を有した品種の開発などの薬剤抵抗性管理に資する技術の確立も挙げている。今後、本戦略での目指すべき姿を実現するためにも、薬剤抵抗性病害虫・雑草の管理を更に推進していくことが重要と考えている。

引用文献

白石正美 (2017). 農林水産省における薬剤抵抗性対策に向けた取組状況. 植物防疫 71 (4) : 57-65 頁.
RAC コード (農薬の作用機構分類)、農薬工業会、<https://www.jcpa.or.jp/labo/mechanism.html>

IPM を基盤とした薬剤抵抗性管理の実践を！

Let's get started! Pesticide Resistance Management based on IPM in Agriculture

¹ 農林害虫防除研究会 殺虫剤抵抗性対策タスクフォース

² 日本曹達株式会社

山本敦司

Atsushi YAMAMOTO

¹Agricultural and Forest Insect Pest Management Society of Japan

²Nippon-Soda Co.,Ltd. 2-2-1, Ohtemachi, Chiyoda-ku, Tokyo, 100-8165, Japan

Abstract

Strategy of pesticide resistance management (PRM), especially on insecticide, was reviewed. The Task Force on Insecticide Resistance Management was organized in 2019, under the workshop, “the agricultural and forest insect pest management society of Japan”. The mission of the task force is to study the solutions of pesticide resistance problem, and to inform farmers as clearly as possible. The general method of risk analysis was employed for the solution, as follows. Step 1: Resistance risk evaluation (to research on resistance), Step 2: Resistance risk management (to build up strategy), Step 3: Resistance risk communication with agricultural advisors and farmers. Then, the basic strategy of PRM, the tools for PRM (ex. the diagram of resistance risks), and the practical measures of pest control with PRM (ex. rotation, mixture, high dose-refuge strategy) based on IPM, were proposed. Examples of resistance risk communication best practices in some agricultural areas were introduced.

1. はじめに

本講演では、いわゆる虫屋（害虫研究者）の一人の視点から薬剤抵抗性管理（PRM: Pesticide Resistance Management）を論じてみたい。病理屋（病害研究者）の殺菌剤耐性菌研究会の歴史ある実績から学ぶのが我々虫屋。その蠢きをみて欲しい。

化学農薬（以下、農薬）を適切な薬剤・適切なタイミング・適切な方法の3点を考慮してミス無く使うと、病虫害雑草の防除は成功する（田代, 2007）。しかし、この3点が「適切」でなければ、防除が上手くいかないだけでなく、薬剤抵抗性発達リスクも高くなる（山本, 2019a）。その結果、古くから農薬に強くなった薬剤抵抗性病虫害・雑草が農業生産者、現場の普及指導員、研究者、企業のみならず悩ませている。薬剤抵抗性発達の原因の一つは、いわばヒューマンエラー（人間の過失）による「適切でない」防除であると自省したい。その対応策が薬剤抵抗性管理・対策であるが、「分かっているようだがモヤモヤしており、どうしたらよいのか？」というよくある現場の声に耳を傾けたい。

生産者にとっては害虫と病害をセットで、防除と薬剤抵抗性対策もセットであって欲しい。虫屋と病理屋は連携してセットで知恵を整理したい。そして、薬剤抵抗性管理を踏まえた適切な防除戦略を生産者へ分かりやすく、すんなりと“伝わる”ように努力したい。これが、我々技術屋の使命である。

2. 農林害虫防除研究会「殺虫剤抵抗性対策タスクフォース」

農林害虫防除研究会（以下、本研究会）では、2019年に殺虫剤抵抗性対策に対応した専門委員会「殺虫剤抵抗性対策タスクフォース」を設置した（山本・土井, 2019）。その目的は、①農業生産現場の薬剤抵抗性対策のニーズに応え、「薬剤抵抗性対策の技術集約と普及」を進めること、②薬剤抵抗性リスクコミュニケーションを進めるため、第三者的立場から「行政・研究者・現場指導者・生産者が、所属組織に関わらず垣根を越えて意見交換・情報共有できる広場」を提供することである。これまでの主な活動として、本研究会 HP で情報発信を開始し、2020年9月に殺虫剤抵抗性リスク評価表（山本・土井, 2021）を公開し、2021年12月に第1回殺虫剤抵抗性対策シンポジウムを開催した（農林害虫防除研究会, 2021）。

3. そもそも、なぜ薬剤抵抗性が問題となったのか？

紀元前から現代に至る農業技術のイノベーションの歴史から、薬剤抵抗性問題のきっかけを見つけよう。大きな転換点は1940年代である。いわゆる「緑の革命」での3大技術、灌漑システム整備、品種改良および化学肥料によって、農作物の生産は飛躍的に増大し人口増加に対応できた。一方、農作物生産の拡大・増収に伴い病害虫・雑草の発生リスクが高まった。それに応じた農薬の発明と使用は、簡便で性能が良い作物保護技術として病害虫・雑草の発生リスクを大幅に減らした。しかしその当時は、虫害防除分野を例にすると、耕種的・生物的・物理的防除等のIPM（Integrated Pest Management：総合的病害虫・雑草管理）技術は研究開発の萌芽・過渡期であり、農薬ほど安定的で確実な作物保護技術ではなかった。そのため、農薬に頼らざるを得ない防除となり、安全性問題とともに薬剤抵抗性が新たな問題としてクローズアップされた。

1960年代に入ると、農薬を含めてさまざまな技術を駆使する総合防除が唱えられ研究開発が始まった。そして2000年前後から、耕種的防除技術の進展に加え、生物的・物理的防除技術資材の実用化も進み、その防除効果も安定した。これらの技術・資材は実践的なIPM技術として実使用されるだけでなく、薬剤抵抗性発達を緩和できる技術でもあるため（柿元, 2021；山本, 2019a）、今後の開発・実用化の継続を期待する。

化学合成技術の進歩によって、1960年代以降に安全性の高い新規作用機構の農薬が次々と開発された。一方、薬剤抵抗性管理・対策の技術は現場へ伝わらず、薬剤抵抗性問題が繰り返された。いわゆる、古くて新しい問題である。さらに近年、農薬の再評価制度の施行やみどりの食料システム戦略も含めて、農薬登録の規制が強化され新規農薬の開発ハードルも高くなった（山本, 2012; 2021）。今後、IPMを成り立たせる技術の一つである化学的防除の農薬を温存するためにも、薬剤抵抗性管理が必要となる。

4. 薬剤抵抗性とは… やさしい定義

薬剤抵抗性の定義は農業生産者にとっては難解だろう（例えば、IRAC, 2021）。これを本質からはずれないように、やさしく定義すると次のようになる（山本, 2020a）。「薬剤抵抗性とは、病害虫に対して薬剤を実用薬量であってもウツカリと適切に使用しないと、圃場で防除できない状態になってしまうことであり、やっかいなことに、病害虫の次の世代以降（子・孫・ひ孫・・・）へも“遺伝して”しまう現象である」。この定義を裏返すと、薬剤抵抗性管理・対策のコツは、抵抗性を“遺伝させない”ように防除の基本を注意深く実践することである。

5. 防除手段：害虫と病害の違い

防除タイミングの考え方と実践は、概して病害と害虫では異なる。病害防除では耕種的防除を組込んだ発生前の予防が基本で、発生後の治療も併用される。それに対し、害虫防除では発生後の駆除（治療的防除）が基本である。（表 1）。殺菌剤耐性菌対策は予防を中心に菌密度が低い時点から計画するのが得策であり、実践もされている。殺虫剤抵抗性対策でも、害虫が多発生時の駆除的防除は薬剤抵抗性害虫が多く含まれるリスクがあることも忘れてはならない。したがって、害虫防除でも少発生時や予防的タイミングでの防除を組入れることは賢明である。

表 1. 害虫と病害の防除手段

	防除の 考え方	化学的防除 農薬 (防除剤の特性)	化学的防除以外の IPM技術 (★：主体となる技術)
害虫 	①駆除 ②予防	殺虫剤 駆除剤 予防剤 (土壌処理)	★生物的防除 ・天敵、微生物剤など ★物理的防除 ・防虫ネットなど 耕種的防除
病害 	①予防 ②治療	殺菌剤 予防剤 治療剤	★耕種的防除 生物的防除 ・微生物剤 物理的防除

近年、特に 2000 年以降に、病虫害の両分野で農薬以外の IPM 技術の開発と実用化が進展し（表 1）、農薬との併用が実践されている。これらの防除資材は耐性菌・抵抗性発達リスクが低く、一部には病害と害虫を同時に防除ができるものもある。例えば、物理的防除では紫外光（UV-B）や害虫気門封鎖型剤などあり、生物的防除でも微生物製剤の利用がある。害虫の場合には捕食性天敵の利用も進んでいる。

6. 薬剤抵抗性を顕在化させる防除上のハードル

薬剤防除の基本は分かっているが、生産現場ではどうしても抵抗性が顕在化してしまう防除上のハードルがあるのは否めない（山本, 2020a）。少なくとも次の 3 つのハードルを踏まえて薬剤抵抗性管理の作戦を考えたい。

- ① そもそも現場で使える薬剤は思うより多くない。また、新規薬剤があればそれに頼りがちになる。
- ② 農業生産者にとっては薬剤抵抗性管理の意識を高めるのが難しい。作物収穫等の収益的作業は薬剤防除に優先する。
- ③ 薬剤抵抗性管理の考え方や用語が難しい。専門用語も多く伝わらない。

7. 作戦を練る準備

防除上のハードルも理解しながら、薬剤抵抗性管理の実践に向けた作戦を練る。そのために準備しておきたい考え方 5 項目を整理する。

（7-1）戦わずに折り合いをつける

まず、心構えから。薬剤抵抗性の発達は、言わば生物進化の一現象であり、薬剤防除を続ける限り避けられない。したがって、この難題・難敵に取り組むには、「病虫害雑草、特に薬剤抵抗性の彼・彼女らと戦い駆逐する」という考えを捨てた方が得策である。むしろ病虫害雑草たちと「上手に付き合い折り合いをつけ」経済的被害許容水準に抑えながら、薬剤抵抗性を遅らせる防除方法を工夫するのが賢明である（藤岡, 2019; 山本・土井, 2020）。これには、総合的生物多様性管理（IBM: Integrated Biodiversity Management）（Kiritani, 2000）の考え方が底にある。そして、IBM を基盤とした防除、IPM の一つに化学的防除（農薬）がある。

（7-2）2大方針

薬剤抵抗性と折合いをつけるために、2つの大方針を策定する（山本, 2017a）。まず、①使用できる薬剤数を増やすための「新規作用機構の薬剤開発」と、②薬剤抵抗性発達を遅延させ薬剤をできるだけ長く使用するための「後手に廻らない薬剤抵抗性管理の普及」である。生産現場で実践できるのは、後者の薬剤抵抗性管理である。そして、現場では安易に新規薬剤の使用に頼りすぎないことも薬剤抵抗性管理に役立つ。

（7-3）薬剤抵抗性リスク分析

この2つの方針を踏まえて、薬剤抵抗性発達を“薬剤抵抗性リスク”として考えて、“リスク分析”の考え方を取り入れる（山本, 2019a）。一般的にリスク分析とは、さまざまなリスクに対応する考え方の道筋であり、3つのステップ、「リスク評価→リスク管理→リスクコミュニケーション」から成る（図1）。

第1ステップ： 薬剤抵抗性の実態や特性を明らかにする研究、「薬剤抵抗性リスク評価」である。これは薬剤感受性検定やさまざまな抵抗性の諸特性などを研究・解明して、薬剤抵抗性対策を伝える資料や薬剤抵抗性対策ツールを作成する上での基盤となる。特に、研究を集約したものが「薬剤抵抗性リスク評価表」であり、地域ごとの薬剤抵抗性対策を分かりやすく考える薬剤抵抗性対策ツールとなる（山本・土井, 2021）。



図1. 薬剤抵抗性リスク分析 山本（2019a）

図2. 薬剤抵抗性リスクコミュニケーション 山本（2019a）

第2ステップ： 「薬剤抵抗性（リスク）管理」で、後手に廻らない薬剤抵抗性リスクコントロールの施策である。薬剤抵抗性リスク評価をベースとした薬剤抵抗性対策マニュアルやガイドライン、各地域・作物の防除暦、GAP（農業生産工程管理）による指導が相当する。

第3ステップ： 「薬剤抵抗性リスクコミュニケーション（以下、薬剤抵抗性リスクコミ）」である（図2）。薬剤抵抗性リスクコミでは、研究者・指導員・行政などの技術側が生産者へ薬剤抵抗性リスクの重大性や被害・損失の程度を正しく伝え、薬剤抵抗性対策ツールや方法を分かりやすく説明する。また、生産者からの現場情報・問題を汲み上げることができれば、双方向の情報の流れによって、より相互理解が深まるため、薬剤抵抗性管理が多く作物／地域で普及するだろう。因みに「薬剤抵抗性リスクコミ」という用語は、農林害虫防除研究会・岩手大会にて提案された造語である（山本, 2017b）。薬剤抵抗性リスクコミの成功事例の一部は山本（2020a）が紹介している。

(7-4) 薬剤抵抗性管理を構成する要素

ここで薬剤抵抗性管理に関する用語を整理する（山本, 2019a; 2020a）（図 3）。

“薬剤抵抗性管理”とは、薬剤抵抗性という難敵を抑えるための大きな「戦略」、すなわち大作戦である。そして、“薬剤抵抗性対策ツール”という様々な「武器」を活用して、“薬剤抵抗性対策”という「戦術」、すなわち適切な薬剤の使用方法や防除法を実行して難敵を制御し折り合いをつける。

ここで、薬剤抵抗性対策ツールをどれだけ準備し活用できるか、IPM 技術を駆使して薬剤ローテーションや混用などの薬剤処理をいかに適切に実施できるかが、薬剤抵抗性管理を実践するポイントであるのは言うまでもない。

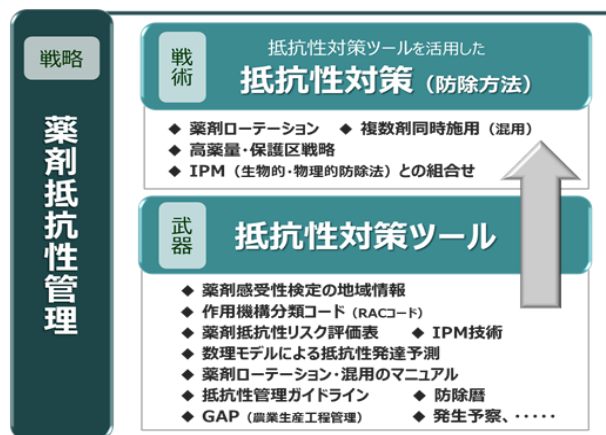


図 3. 薬剤抵抗性管理を構成する要素
山本（2019a, 2020a）



図 4. 農業生産に関わる管理体系と薬剤抵抗性管理の位置づけ
山本（2019a）

(7-5) 薬剤抵抗性管理の防除体系での位置づけ

農業生産には図 4 に示す様々な管理体系が関わり（山本, 2019a）、総合的生物多様性管理（IBM）が基盤となる。この体系で病害虫・雑草防除に深く関わるのは、総合的作物管理（ICM: Integrated Crop Management）からである。その中で、薬剤抵抗性管理（PRM）を効率的に進めるためには、総合的作物管理（ICM）の重要な基盤技術の一つである耕種的防除の利用や、総合的病害虫・雑草管理（IPM）の生物的防除や物理的防除資材の活用が不可欠である。すなわち、薬剤抵抗性管理（PRM）は ICM・IPM の基盤の上に成り立つ。IPM 実践指針の考え方（農林水産省, 2005）を組込んだ IPM ベースの薬剤抵抗性対策が農水省植物防疫課からも推進されている（白石, 2017）。

8. 作戦 5 点を練る：薬剤抵抗性管理を考慮した防除

作戦を練る。病害虫防除では病害虫を「圃場に入れない、増やさない、圃場の外に出さない」の基本 3 原則があり（行徳, 2009）、これは薬剤抵抗性管理にも応用できる。この視点で薬剤抵抗性管理を踏まえた防除の目的とそれに応じた防除の基本作戦 5 点を考える（表 2; 山本, 2020a）。

- 〔1. 入れない〕 初期防除・予防を徹底し、薬剤抵抗性病害虫を圃場に持ち込まない。
- 〔2. 増やさない①〕 病害虫の連続した世代への薬剤施用を避け、薬剤抵抗性遺伝子 R を遺伝させない。
- 〔3. 増やさない②〕 追加防除で害虫個体数・菌密度を十分に少なくし、薬剤抵抗性遺伝子 R そのものを徹底的に減らす。
- 〔4. 増やさない③〕 薬剤施用後に圃場外から薬剤感受性個体 SS を多量に移入する環境を整える。そし

て薬剤抵抗性個体 RR と交尾・繁殖させ、薬剤抵抗性遺伝子 R の比率を下げる。

〔5. 出さない〕最終防除（追加防除）を行う。防除が終わった薬剤抵抗性遺伝子 R 頻度の高い圃場から、圃場外の周辺環境へ薬剤抵抗性個体 RR を移出させないように残渣処理などの最終防除を行う。

以上の薬剤抵抗性管理の基本作戦 5 点を意識しておくと、それぞれ実践する防除法がどの目的・作戦となっているかが明確になり、ミスのない防除につながる。

表 2. 薬剤抵抗性管理を考慮した防除：5 つの目的と基本作戦（山本，2020a）

防除3対策 キーワード	薬剤抵抗性管理での 目的	薬剤抵抗性管理の防除 5 つの基本（害虫の場合）
入れない 〔栽培の前〕	✓ 圃場へ抵抗性病害虫を 持ちこまない。	① 初期防除を行う。 → 薬剤防除，生物的・物理的・耕種的防除
増やさない 〔作物の生育期〕	✓ 抵抗性遺伝子を 次世代へ伝えない。	② 害虫の連続した世代へ同じ薬剤を使わない。 → 薬剤ローテーション，生物的・物理的防除の併用。
	✓ 抵抗性病害虫・遺伝子そのものを 徹底的に減らす。	③ 追加防除で， 害虫個体数を十分に少なくする。 → 薬剤防除，生物的・物理的防除
出さない 〔栽培の終了後〕	✓ 抵抗性病害虫・遺伝子の 比率を下げる。	④ 感受性害虫を移入させる環境を整える。 そして，抵抗性害虫と繁殖させる。
	✓ 生残ってしまった抵抗性病害虫を 圃場の外へ出さない。	⑤ 最終防除（追加防除）を行う。 → 物理的・耕種的・生物的防除，薬剤防除

9. 武器：薬剤抵抗性対策ツール 4 点セット

薬剤抵抗性対策ツールは，薬剤抵抗性対策の防除（戦術）を効率的に実践するための武器である（図 3）。その中で，重点ツール 4 点セットと言えるのが，①薬剤感受性検定，②作用機構分類コード（RAC コード），③薬剤抵抗性リスク評価表，および④IPM 技術の物理的・生物的防除である。それ以外にも，数理モデルによる薬剤抵抗性発達の予測や，後述する GAP（農業生産工程管理）も有効な薬剤抵抗性対策ツールである。

（9-1）薬剤感受性検定

薬剤感受性検定は，圃場での薬剤防除の健康診断である。しかし，殺菌剤分野に比べて殺虫剤分野では，その診断結果を示す用語の解釈がこれまで曖昧であった。例えば「感受性低下」「抵抗性が疑われる」と「抵抗性」は本来異なるが，同義とする使用ミス・判断ミスが散見される。そのため，農林害虫防除研究会にて殺虫剤抵抗性の発達段階を区分した（表 3；山本ら，2021）。

殺菌剤耐性菌研究会では，菌の薬剤感受性に関するベースラインデータと圃場での防除効果に基づいて耐性菌発達段階の用語を定義しており（石井，2010），それを基準とした耐性菌研究報告が一般的である。さらに，殺虫剤抵抗性発達の段階を区分した別の指標には（表 3），殺虫剤抵抗性遺伝子頻度を用いたりリスクレベルでの判断（山村・須藤・山中，2019），農林水産省アンケートでの薬剤抵抗性が広がる様相（フェーズ）の判断（白石，2017；鈴木，2019）がある。これらの区分指標も対照して殺虫剤抵抗性発達過程の用語を区分した。

表 3. 殺虫剤抵抗性発達段階・レベルの区分 (山本ら, 2021)

殺虫剤抵抗性の発達段階の区分		参考：殺虫剤抵抗性に関するさまざまな指標	
抵抗性発達の段階	①圃場での防除効果 実用薬量・濃度 ②室内での生物検定 薬剤感受性ベースライン ¹⁾ との比較	遺伝子診断による 抵抗性リスクレベル (農研機構) 山村・須藤・山中(2019)	都道府県下での 抵抗性の広がり のフェーズ 白石 (2017) 農水省植防課 鈴木 (2019) 三重県植防会議
抵抗性	①圃場：防除効果不十分，無し ②室内：効果不十分，無し	リスクレベル 3 既に抵抗性が発達	フェーズⅢ ・都道府県下で広域に広がる
感受性低下	①圃場：防除効果あり ②室内：効果不十分 ²⁾	リスクレベル 2 抵抗性が発達中	フェーズⅡ ・ある程度の面積規模に広がる フェーズⅠ ・一部の圃場の現象にとどまる
感受性	①圃場：防除効果あり ②室内：効果あり（ベースラインと同等）	リスクレベル 1 抵抗性は未発達	フェーズ 0-a ・感受性低下は認められない ・他の都道府県では発達あり フェーズ 0-b ・感受性低下は認められない
参考：非感受性	もともと効果が無い	—	—

¹⁾ 薬剤感受性ベースライン：薬剤使用前の個体群，あるいは標準感受性個体群における薬剤感受性

²⁾ 補足説明：実用薬量・濃度よりも低い薬量・濃度で効果があっても，ベースラインと比較して効果が不十分であれば「感受性低下」となる。

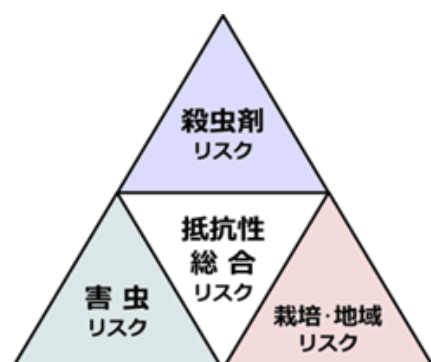
(9-2) 薬剤抵抗性リスク評価表

普及指導員や農業生産者にとって，薬剤防除の前にあらかじめ薬剤抵抗性リスクを知りたい。薬剤抵抗性リスク評価表は，防除対象の病害虫と薬剤の組合せで薬剤抵抗性リスクの重み付けが点数化されている。点数化することで薬剤抵抗性リスクを分かりやすく表示した。日本の殺菌剤耐性菌リスク評価表は農薬工業会 Japan FRAC から（田辺，2017）公開され，各地域で応用されている（例えば，鈴木，2019）。また，殺虫剤抵抗性リスク評価表は農林害虫防除研究会から公開されている（表 4；山本・土井，2021）。

例えば，殺虫剤抵抗性リスク評価表では，殺虫剤抵抗性の「抵抗性総合リスク」は，①殺虫剤リスクと②害虫リスクと③栽培・地域リスクの 3 つのリスク点の掛け算で点数化されており，数値が大きいほど抵抗性リスクの重大性が高い。殺虫剤リスクはその作用機構グループによって，また害虫リスクはその害虫種の生物・生態的特性によって，それぞれ固有の数値が振り分けられる。一方，栽培・地域リスクの数値は，栽培方法，気象条件，薬剤処理法，IPM 技術導入の有無，地域の薬剤感受性検定結果によって，地域・圃場ごとに異なる。したがって，栽培・地域リスクのコントロールが最も重要であり，薬剤抵抗性対策をより効果的に進める鍵を握る。

この薬剤抵抗性リスク評価表の作成メリットは，防除を行う作物・地域（圃場）で，この表を作成している最中で得られる。それは，薬剤抵抗性発達を高める要因と下げる要因が見えてくることである。薬剤抵抗性管理・対策を意識して現在の防除体系・栽培法を見直すべき点がより明確になる。

表 4. 殺虫剤抵抗性リスク評価表（山本・土井，2021）



殺虫剤リスク		抵抗性総合リスク			栽培・地域リスク	
殺虫剤の系統名等 (IRACコード)	リスク値	0.5 ~ 36			リスク値	該当地域の栽培法での害虫発生と防除法
有機リン系 (1B) カーバメート系 (1A) 含硫シスロト系 (3A) 殺ダニ剤・食糧 (殺菌剤以外)	高=6	12	24	36	高=2	高リスク ・評価する害虫は既に多発発生、 ・栽培で発生頻度が少ない害虫、 ・殺虫剤による防除が主体。
ネオニコチノイド系 (4A) スピリノシン系 (5) アベルメクチン系 (6) ジミト系 (2B) 81系 (11) ピロリル系 (13) フロリシロリン (16) ベンゾイルフェニル炭素系 (15) シタラールとラシラ系 (18)	中=4	6	12	18	中=1	中リスク ・評価する害虫の発生は中～多発、 ・殺虫剤による防除が主体、 ・ローテーション・防除など抵抗性対策を 実施する場面もある。 ・IPMを一部で導入している。
生物学的防除剤・各種 (UNB, UNF, 31) 植物抽出由来剤 (UNE) 性フェロモン剤 (IRACコード無) マダガスカール系・各種 (2) 新規系統の開発剤・各種	低=1	2	4	6	低=0.5	低リスク ・評価する害虫は発生頻度少なく、 ・殺虫剤による防除が少ない。 ・害虫発生が多い場合には、 ・ローテーション・防除など抵抗性対策を 必ず実施。 ・IPM技術を多く導入している。
(注) 高～低リスクに 分類されていない剤・系統	既定値=2	-	-	-	中=1	※ 該当地域の薬剤感受性検定結果等を 参考としてリスク値を調整しても良い。

(9-3) 化学的防除（農薬）以外の IPM 技術の併用

薬剤抵抗性対策として、IPM 技術利用の目的は少なくとも次の 3 点である。①不必要で“過剰な”薬剤処理を削減する、②薬剤抵抗性病害虫も防除できる、③それによって薬剤抵抗性リスクを緩和する。

病害分野では耕種的防除による予防の徹底が IPM の基本である。一方、害虫分野では、生物農薬・土着天敵および物理的防除資材の活用が進んでいる。また、殺虫剤抵抗性リスク評価表に基づいた薬剤抵抗性対策の中でも、化学的防除（農薬）以外の IPM 技術の併用が推奨されている（山本・土井，2021）。

ハダニ防除の事例では、図 5 に示す多彩な IPM 防除技術が開発・実用化され、殺ダニ剤抵抗性対策にも貢献している。各資材の資料や別の解説（山本，2020b；柳田，2019；関根，2019）も参照されたい。

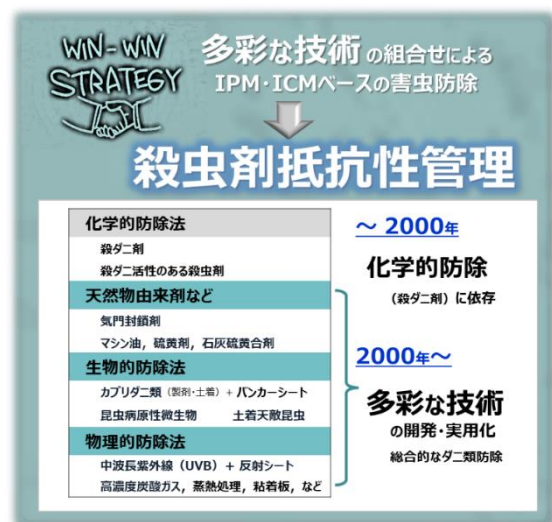


図 5. IPM 技術との体系による殺虫剤抵抗性管理
（ハダニ類防除の例）山本（2019a, 2020a）

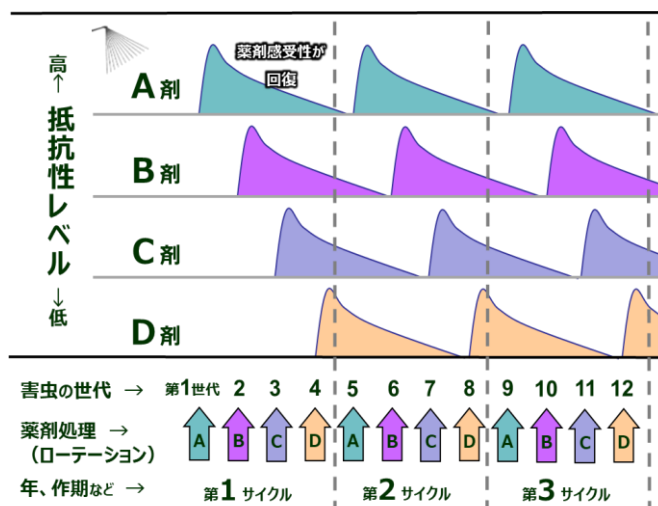


図 6. 薬剤ローテーションと抵抗性レベルの変化
Georghiou（1983）から引用・改編し作図

10. 戦術：薬剤抵抗性対策を実践する防除

薬剤抵抗性対策の実践、いわゆる戦術（図3）には、化学農薬以外の IPM 技術を併用して車の両輪とするのが得策であり、薬剤による淘汰圧を緩和しながら病虫害防除ができる。一方、薬剤自身の効果的な使用方法も再確認したい。薬剤を使った対策として従来から実践されている方法は、薬剤ローテーションと薬剤混用である。薬剤混用は、病虫害密度を一気に徹底的に減らす方法で、積極的攻撃策とも言える。さらに、薬剤感受性個体群を利用する「高薬量・保護区戦略」も提案されている。詳しい説明は割愛するが、そのアイデア・理論や事例が報告されている（鈴木, 2012; 須藤, 2018; 山本, 2019b）。

（10-1） 薬剤ローテーションの留意点

薬剤ローテーションは、生産現場で最も普及している薬剤抵抗性対策の緩和的な薬剤処理法であり、効率的に実施するための留意点を記す。特に虫害分野では、害虫の連続した世代に同じ作用機構の薬剤を施用しない「世代間ローテーション」が基本であるが、それだけでは不十分であることを示す実証研究／ミカンハダニ（大竹, 1984）と数理モデルの理論研究（Yamamura, 2021）が報告されている。

薬剤ローテーションで必須な2つの条件は、「作用機構の異なる薬剤を用いること」と、「薬剤が再び使用できるレベルまで感受性を回復させる」ことである（Georghiou, 1983 ; 図6）。しかし、大多数の薬剤ローテーションの資料・説明では前者のみが強調されているが、残念ながら後者の薬剤感受性回復の重要性を説明していない。薬剤ローテーションを理論どおりに実践するハードルは高い。一方、圃場周辺環境の薬剤感受性個体群を利用して薬剤抵抗性頻度を低める工夫や、IPM 技術もローテーションに組込んで薬剤感受性回復のチャンスを待つアイデアもある。詳しくは別の解説も参照されたい（Yamamura, 2021; 山本, 2020a）。

11. ケーススタディ：薬剤抵抗性リスクコミュニケーション

（11-1） 合成ピレスロイド剤抵抗性コナガの発生沈静化／千葉県（本山, 1997, 2021）

千葉県柏市の周年栽培チンゲンサイでの1980年代の薬剤抵抗性対策である。現場の東葛農業改良事務所の指導員（普及の立場）と千葉大学園芸学部（研究の立場）と農協（農薬販売の立場）とチンゲンサイ栽培組合（生産者の立場）の4者が協調して、「発生実態把握→原因解明から防除対策構築」を次のように実践した。まず、普及員が合成ピレスロイド剤連用散布による薬剤抵抗性発達を把握した。千葉大学では簡易的な感受性検定を急ぎ実施し、作用機構の異なる3グループの有効薬剤を探索できた。現場への説明会を実施し検定結果と薬剤ローテーション散布の実施を説明した。薬剤抵抗性問題の克服に成功した理由は、関係する4者の協力によって、ローテーション防除が徹底できたことにある。後日のエピソードだが、普及指導員は「農家の窮状を救った」と千葉県から表彰された。これは、「薬剤抵抗性リスクミ」を意識しなくとも成功した約40年前の好事例である。

（11-2） GAPに取り入れた薬剤抵抗性管理の実践／三重県（鈴木, 2019 ; 川上ら, 2020）

三重県では、2014年から三重県植物防疫検討会議の中に、病虫害雑草抵抗性部会が設置されている。QoI 耐性いもち病菌対策をはじめとして、トマト灰色かび病の殺菌剤耐性菌などの薬剤抵抗性病虫害対策を牽引している。薬剤感受性モニタリング結果に基づいて、三重県版の5段階の薬剤抵抗性対策フェーズ管理表を作成し、薬剤抵抗性の発達状況に応じた対応を明示している。注目に値するのは、GAPと

薬剤抵抗性管理を連動させていることにある。薬剤抵抗性対策ツールでもある GAP を用いることで、生産者に伝わるより分かりやすい情報伝達システムができている。これは、上からの啓発的な薬剤抵抗性対策の推進から脱却した、新たな「薬剤抵抗性リスクミ」の好事例である。

（11-3） 薬剤抵抗性リスクコミュニケーションの成功事例から学ぶ

薬剤抵抗性リスクミが成功した 6 事例を分析したところ（山本，2020a），その成功に関して行政・研究者・指導員に求められる点が次のように見えてくる。

- ① 薬剤抵抗性が問題になってから取組むのではなく、普段から薬剤抵抗性リスクを意識した防除をすること。
- ② スピード感を持ってどんどん現場へ入ること。
- ③ 研究者・指導員と生産者が相互にコミュニケーションする信頼関係を築く人間力を持つこと。
- ④ 通常の適切でミスのない薬剤防除が、後手に廻らない薬剤抵抗性管理・対策に繋がること。

12. おわりに 「みんなが得する薬剤抵抗性管理」

「薬剤抵抗性を研究し施策を作ったら薬剤抵抗性管理・対策は終わり」と言うのでは無く、農業生産者に“伝わり実践されて”はじめて意味を持つ。現場に伝わり顧客（生産者）満足を高めようとする視点が、薬剤抵抗性リスクミを円滑に進めるキモであり、適切でミスのない防除と薬剤抵抗性管理の実践につながる。特に、薬剤抵抗性リスクミの中心となるのが、現場の普及指導員と JA 営農指導員である。行政・研究・企業の情報発信側は所属の立場を超えて、現場を支える指導員へ技術と情報を惜しみなく提供し連携したい。そして、農業生産者から「薬剤抵抗性管理も IPM も GAP も上から降りてくる別々のものではなく、それぞれがちゃんとつながっている。それで適切な防除ができるんだ（鈴木啓史，私信：現場情報より）」と言っていただけるようにしたい。

農業生産に関わる者が所属の枠を超えてワンチームとなり、スクラムを組んで「みんなが得する薬剤抵抗性管理」（山本，2019a；2020a）へのビクトリーロードを駆け抜けトライを決めたい！

【関連情報：動画配信（無料）】

アグリジャーナルのオンライン展示会のカンファレンスにて、次の講演がインターネット上で動画配信されています（2020 年 12 月～）。主に農業生産者向けの一般的な内容です。皆さんで共有してください。

演題 「農薬に強い病害虫を増やさない防除！／山本敦司」

（前編）薬剤防除の基本（約 30 分） <https://expo.agrijournal.jp/conference/pestcontrol/>

（後編）みんなが得する薬剤抵抗性対策（約 30 分） <https://expo.agrijournal.jp/conference/pestcontrol2/>

引用文献

- 藤岡伸祐 (2019) “抵抗性と戦う”から“抵抗性と上手く付き合う”へ. 農林害虫防除研究会 News Letter. 43:1-4.
- Georghiou, G. P. (1983) Management of Resistance in Arthropods, “Pest Resistance to Pesticides (eds. G. P. Georghiou & T. Saito), Plenum, Press.” pp.769-792.
- 行徳裕 (2009) タバココナジラミ おもしろ生態とかしこい防ぎ方, 農山漁村文化協会, 東京. 124pp.
- IRAC (2021) IRAC Mode of Action Classification Scheme, v10.1, <http://www.irac-online.org/modes-of-action/>
- 石井英夫 (2010) 殺菌剤耐性菌研究会 20 年の歩み. 第 20 回殺菌剤耐性菌研究会シンポジウム講演要旨集. 1-10.
- 柿元一樹 (2021) 天敵利用を基幹とした IPM を農業経営に取り込む - SDGs 時代の実践的害虫管理 -. 農業 1676 号, 大日本農会 : 6-24.
- 川上拓・中嶋香織・鈴木啓史 (2020) トマト灰色かび病菌の主要薬剤に対する耐性菌の発生動向. 植物防疫 74(6): 333-337.
- Kiritani K. (2000) Integrated biodiversity management in paddy fields: shift of paradigm from IPM toward IBM. Integrated Pest Management Reviews. 5: 175-183.
- 農林害虫防除研究会 (2021) 第 1 回殺虫剤抵抗性対策シンポジウム講演要旨 (2021/12/17), 農林害虫防除研究会.
- 農林水産省消費・安全局植物防疫課 (2005) 「総合的病害虫・雑草管理 (IPM) 実践指針」.
https://www.maff.go.jp/j/syouan/syokubo/gaicyu/g_ipm/pdf/byougai_tyu.pdf
- 大竹昭郎 (1984) 総合考察. “ミカンハダニの殺だに剤抵抗性に関する研究 (岩田俊一ほか編).” 日本植物防疫協会. pp.88-104.
- 本山直樹 (1997) 第 2 章 薬剤耐性・抵抗性の推移と展望 (2 殺虫剤). 植物保護の探求 (日本農薬学会 農薬生物活性研究会編). 日本植物防疫協会, 東京. pp.79-90.
- 本山直樹 (2021). 私が関わった殺虫剤抵抗性研究 42 年 - 基礎から現場の問題解決へ -. 第 1 回殺虫剤抵抗性対策シンポジウム講演要旨 (2021/12/17), 農林害虫防除研究会. 131-46.
- 関根崇行 (2019) 促成イチゴ栽培の天敵利用と IPM—宮城県の現状と展望を中心に—. 日本応用動物昆虫学会誌 63(3) : 79-75.
- 須藤正彬 (2018) 殺虫剤抵抗性への理論的アプローチ. 関東雑草研究会報 29: 8-21.
- 白石正美 (2017) 農林水産省における薬剤抵抗性対策に向けた取組状況. 植物防疫 71(4): 269-277.
- 鈴木啓史 (2019) GAP における IPM と薬剤抵抗性病虫害管理. 植物防疫 73(10) : 615-622.
- 鈴木芳人 (2012) 殺虫剤抵抗性管理の原理. 植物防疫 66(7) : 380-384.
- 田辺憲太郎 (2017) 殺菌剤耐性菌対策に係る FRAC の活動. 植物防疫 71(6) : 426-432.
- 田代暢哉 (2007) だれでもできる果樹の病虫害防除. 農山漁村文化協会, 東京. 143pp.
- Yamamura K. (2021) Optimal rotation of insecticides to prevent the evolution of resistance in a structured environment. Population Ecology. 63: 190-203.

- 山村光司・須藤正彬・山中武彦（2019）サンプリング理論とリスクレベルの設定．薬剤抵抗性農業管理のためのガイドライン案（2019年3月／平成26～30年度 農林水産省委託プロジェクト研究「ゲノム情報等を活用した薬剤抵抗性管理技術の開発」コンソーシアム編），農研機構．pp.16-29.
- 山本敦司（2012）持続的な害虫制御に向けた殺虫剤抵抗性マネジメントの課題．日本農薬学会誌 37(4): 392-398.
- 山本敦司（2017a）持続的な病虫害制御を見据えた薬剤抵抗性管理と新規の殺菌剤・殺虫剤の開発．植物防疫 71(5): 337-346.
- 山本敦司（2017b）殺虫剤抵抗性リスクコミュニケーション．第22回農林害虫防除研究会岩手大会講演要旨．9.
- 山本敦司（2019a）殺虫剤抵抗性管理 農業生産現場への普及の取組み．植物防疫 73(12): 766-773.
- 山本敦司（2019b）殺虫剤抵抗性管理：高薬量保護区戦略のケーススタディと最近の研究動向．EBC研究会ワークショップ2019講演要旨．27-37.
- 山本敦司（2020a）薬剤抵抗性管理：ケーススタディから考えよう．関東東山病虫害研究会報 67: 1-8.
- 山本敦司（2020b）ハダニ類防除技術の最近の動向と薬剤抵抗性管理．新農業時代（日本曹達株式会社）1: 5-12.
- 山本敦司（2021）IPM と薬剤抵抗性対策を踏まえた上手な病虫害防除．東京農業大学総合研究所研究会，生物的防除部会ニュース．72: 15-23.
- 山本敦司・土井誠（2019）〔インフォメーション〕農林害虫防除研究会殺虫剤抵抗性対策タスクフォース．農林害虫防除研究会 News Letter. 43: 4-7.
- 山本敦司・土井誠（2020）〔殺虫剤抵抗性対策タスクフォースから〕お知らせ第2回．農林害虫防除研究会 News Letter. 44: 3-4.
- 山本敦司・土井誠（2021）殺虫剤抵抗性リスク評価表 抵抗性リスクを見える化して対策へつなげる．植物防疫 75(1): 16-24.
- 山本敦司・土井誠・井口雅裕・宮崎仁実・野田隆志（2021）IPM を考慮した殺虫剤抵抗性管理の実践と連携を！（開催にあたって）．第1回殺虫剤抵抗性対策シンポジウム講演要旨（2021/12/17），農林害虫防除研究会．1-8.
- 柳田裕紹（2019）促成栽培イチゴのナミハダニ（ダニ目：ハダニ科）に対する IPM の現状と将来展望－福岡県における事例を踏まえて－．日本応用動物昆虫学会誌 63(1): 1-12.

以上

東北地域のタマネギ腐敗性病害の病原細菌とその薬剤耐性について

The causal agent of onion rots in Tohoku region of Japan
and its resistance to agricultural chemicals.

農業・食品産業技術総合研究機構 東北農業研究センター

達 瑞枝

Mizue Tsuji, Tohoku Agricultural Research Center, National Agriculture and Food Research
Organization, 4 Akahira, Shimo-Kuriyagawa, Morioka, Iwate 020-0198, Japan

Abstract

To identify the causal agent of bacterial rot of onion (*Allium cepa* L.) bulbs in Tohoku region of Japan, bacteria were isolated from symptomatic onion plants at different stages through the growth and storage periods. *Pseudomonas marginalis*, *Pantoea ananatis* and *Erwinia rhapontici* were frequently isolated from onion leaves in the fields with different symptoms on onion scales. However, *Burkholderia cepacia* complex (Bcc) bacteria were mainly isolated from rotted bulbs at harvest or later, and they reproduced original symptoms on onion scale sections. Therefore, Bcc was suggested to cause rot on onion bulbs during storage, invading plants before harvest. For selecting the effective agricultural chemicals to Bcc and other species isolated from onion, their sensitivity to bactericides and the minimum inhibitory concentration (MIC) of bactericides were evaluated. The tested Bcc strains showed tolerance to Cu compounds (bactericides and reagents) of the Cu-concentration of spraying in the fields. Bactericides including oxolinic acid was remarkably effective to both of Bcc and other species.

1. はじめに

タマネギは最も輸入量が多い野菜品目であり、国内生産量約 133 万 t の 22%に相当する約 30 万 t が輸入され、おもに業務加工用に利用されている（作物統計調査，令和元年）。国内では、主要な産地である北海道、兵庫県、佐賀県の 3 道県が生産量の 7 割を占める一方で、兵庫県や佐賀県の秋まき作型と北海道の春まき作型では、7～8 月の供給量が少なくなる端境期が生ずる。農研機構では、この端境期に収穫できる新たな作型を開発し、東北地域を中心に普及を進めてきた（東北地域における春まきタマネギ栽培マニュアル，2020）。この作型では、タマネギは北海道の春まき作型を 1 ヶ月ほど早めたスケジュールで栽培され、1 月中旬から 2 月中旬に播種、ハウス内にて育苗の後 4 月に本圃に定植、高温多湿となる 7 月上旬から 8 月中旬に収穫と乾燥調整を迎える。

この作型の導入と普及の過程において、収穫後のタマネギりん茎に腐敗症状が生じ、普及を阻害する大きな問題となった。タマネギりん茎の腐敗性病害としては、タマネギ腐敗病、軟腐病、りん片腐敗病、灰色腐敗病、乾腐病など細菌や糸状菌による複数種の病害が挙げられるが、東北地域のタマネギりん茎腐敗の主要な原因は明らかではなかった。新作型において効果的な防除体系を構築するため、タマネギりん茎腐敗の病原体の特定と、効果的な薬剤の選定を行った過程を以下に紹介する。

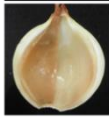
2. 東北地域のタマネギ腐敗性病害の病原細菌

東北地域の春まき作型で観察されたタマネギりん茎腐敗では、りん茎上部から下方にかけて 1～複数

枚のりん片に半透明、淡黄色、淡褐色などの水浸状腐敗が観察された。軟腐症状は伴わず、腐敗したりん片の表皮組織は保たれており、隣接する健全なりん片への腐敗の拡大は観察されなかった。腐敗したりん茎は、首部がやや軟化していることをのぞき、外観から健全なりん茎と識別することは困難だった。（達ら，2019a）（図 1）。これらの症状を先行研究と照らし合わせたところ、細菌による腐敗が疑われた。細菌によるタマネギりん茎の腐敗性病害としては、本研究開始段階では、*Burkholderia cepacia*（Sotokawa and Takikawa, 2004）、*Erwinia rhapsontici*、*Pseudomonas marginalis* pv. *marginalis*（大内ら，1983）による腐敗病、*Burkholderia gladioli*（田中・青田，1990）、*Pantoea ananatis*（白川ら，2010；守川ら，2014）によるりん片腐敗病（鱗茎腐敗症）、*Pectobacterium carotovorum* による軟腐病（田部井・吉田，1952）が報告されていた（日本植物病名データベース，https://www.gene.affrc.go.jp/databases-micro_pl_diseases.php）が、圃場でのタマネギ生育中に葉や地上部に現れる症状や、病原細菌が活発に活動する時期、病害の発生が報告された作型は、病害によりそれぞれ異なる。そこで、2016～2017 年東北地域の 5 県 6 圃場において、タマネギに寄生する腐敗性病害の病原細菌を、本圃での栽培期間中から収穫後にかけて採集し、その群集構造を調査した。調査は、タマネギの葉や葉鞘、りん茎の腐敗症状（2016 年 20 点，2017 年 221 点）から、りん茎切片に腐敗能を示す細菌（計 280 菌株）を分離し、タマネギりん茎への腐敗能試験、細菌学的性状試験、特異的検出 PCR によりグルーピングして行った。



図 1 収穫直前(A)と貯蔵 2 か月後(B)の腐敗症状

タマネギの生育ステージ						
試験地	立毛～りん茎肥大期				収穫直前	貯蔵2か月後
岩手県北研	▲ (6/7)	▲◆ (6/19)	▲ (7/7)	▲◆ (7/20)	●	●
宮城園農研		●▲◆ (6/30)			●	●
秋田農試		▲◆ (7/3)	▲◆ (7/15)	●▲◆	●	●
山形庄内産地研	▲◆■ (6/22)			●◆■	●◆■	●■
福島農総セ	▲◆ (6/28)		●▲◆ (7/18)	●◆	●◆	●◆
東北農研	▲◆ (6/15-8/2)			●◆	●◆	●
腐敗症状					 	 

(日付) はサンプル採集日

図 2 2017 年にタマネギの腐敗症状(221 サンプル)から分離した細菌群(右)とグルーピングの結果(下)

- : *Burkholderia cepacia* (181株)
- ▲: *Pseudomonas marginalis* (42株)
- : *Erwinia rhapsontici* (7株)
- ◆: *Pantoea ananatis* (50株)

その結果、280 菌株の分離細菌は、大きく 4 つのグループに分かれた (図 2)。2017 年の調査において、圃場での栽培期間中に、葉折れ部の壊死や新葉の枯死周辺の腐敗、葉鞘の腐敗から分離された細菌は、おもに、*P. marginalis*, *P. ananatis*, *E. rhapontici* のグループに属する菌株であったが、収穫直前 (タマネギ倒伏期) と貯蔵 2 か月後には、*B. cepacia* のグループに属する菌株が多く分離された。また、タマネギりん茎への腐敗能試験では、*B. cepacia* のグループに属する菌株はいずれも、収穫直前および貯蔵 2 か月後のタマネギりん茎に観察された病徴と同様の症状を示したのに対し、*P. marginalis*, *P. ananatis*, *E. rhapontici* のグループに属する菌株は、現病徴とは異なる症状を示した。以上のことから、東北地域の春まきタマネギりん茎に腐敗を起こす原因は、*B. cepacia* のグループに属する細菌であると考えられた。また、*B. cepacia* は、栽培中の茎葉部からはほとんど分離されなかったが、収穫直後に茎葉部を切り落とす段階で観察されたりん茎の腐敗症状から分離されたことから、*B. cepacia* は収穫時に茎葉部の切断部分から侵入するのではなく、栽培中のいずれかの時期に茎葉部を通じてりん茎に侵入する (図 1A) 可能性が高いことが推測され、栽培期間中の薬剤防除の重要性が示された。

なお、上述の研究については、達ら (2019a) として日本植物病理学会報に報告した。その後、*B. cepacia* のグループに属する細菌にはコロニー色や細菌学的性状の異なる複数系統が含まれ、ハウスキーピング遺伝子に基づく詳細な系統解析の結果、*B. cepacia* complex に属する 4 種 (*B. cepacia*, *Burkholderia cenocepacia*, *Burkholderia ambifaria*, *Burkholderia pyrrocinia*) が含まれることが明らかになった (Tsuji and Kadota 2020)。また、本研究開始後、先述のタマネギ腐敗性病害病原細菌に加え、Tsuji et al. (2020) により *Erwinia persicina* が、Sawada et al. (2020) により *Pseudomonas allii* が、Tsuji and Fuji (2021) により *Pseudomonas viridiflava* が、それぞれタマネギ腐敗病の病原細菌として報告され、多様な生態を示す多種の植物病原細菌が、タマネギに腐敗を起こすことが明らかになりつつある。

3. タマネギ病原細菌の薬剤耐性と抗菌活性

ところで、本研究の過程において、一般的に植物病原細菌防除に用いられる銅水和剤では、本病に対して期待通りの防除効果が得られないという意見が複数得られた (山崎私信, 他)。*B. cepacia* における銅耐性能は Goto et al. (1994) により報告されているが、農業分野で利用される薬剤に関する情報はこれまで限定されていた。また、タマネギで使用可能な薬剤は、適用病害がりん片腐敗病・軟腐病に限られる場合が多いため、本研究開始段階では、東北地域の春まきタマネギの腐敗 (おもに腐敗病) で有効な薬剤の成分は不明だった。そこで、効果的な腐敗性病害防除対策を確立するため、同地域で分離されたタマネギ病原細菌のうち *B. cepacia*, *B. cenocepacia*, *P. marginalis*, *P. ananatis*, *E. rhapontici* の薬剤耐性能を調査した。供試細菌の薬剤耐性能は、ペーパーディスク法 (後藤・瀧川, 1984, 抗生物質感受性試験) による細菌の生育阻害試験と、1%グルコースを添加した Ayer's 培地を用いた最小発育阻止濃度 (MIC) 試験に基づき評価した (達・善林, 2020)。ペーパーディスク法では、銅水和剤 (水酸化第二銅)、オキシリニック酸・ストレプトマイシン水和剤 (オキシリニック酸・ストレプトマイシン硫酸塩)、オキシリニック酸水和剤、カスガマイシン・銅水和剤 (塩基性塩化銅・カスガマイシン塩酸塩)、バリダマイシン液剤に加え、0.4M 硫酸銅五水和物水溶液とストレプトマイシン硫酸塩 (試薬) 水溶液を供試した。MIC 試験では、0.4M 硫酸銅五水和物水溶液、ストレプトマイシン硫酸塩 (試薬)、オキシリニック酸 (試薬)、カスガマイシン液剤、バリダマイシン液剤に加え、オキシテトラサイクリン塩酸塩 (試薬) を供試した。

その結果、ペーパーディスク法においては、*P. marginalis*, *P. ananatis*, *E. rhapontici* は銅水和剤に

より生育を阻害されたが、*B. cepacia*, *B. cenocepacia* では生育阻害は観察されなかった。それに対しオキシソリニック酸水和剤とオキシソリニック酸・ストレプトマイシン水和剤は、試験したすべての菌株の生育を阻害した。一方、ストレプトマイシン硫酸塩水溶液は *B. cepacia*, *B. cenocepacia* の生育を阻害しなかったことから、混合剤での効果はオキシソリニック酸により得られたものと考えられた。カスガマイシン・銅水和剤は、*P. marginalis*, *P. ananatis*, *E. rhapontici* だけでなく *B. cepacia*, *B. cenocepacia* に対しても、一定の生育阻害効果を示した（表 1）。MIC 試験の結果においても、オキシソリニック酸（試薬）は圃場散布濃度よりも低い濃度で、すべての供試菌株の生育を阻止した。*B. cepacia*, *B. cenocepacia* は 1000ppm 濃度の硫酸銅五水和物を含む試験培地上でも生育し、硫酸銅五水和物の *B. cepacia* に対する MIC を 4.0-4.5mM とする Goto et al. (1994) と矛盾しない結果を示した（表 2）。

表 1 細菌を懸濁した培地上での農薬と試薬による阻止円形成

種類	銅水和剤 (1000倍)	0.4M CuSO ₄ ·5H ₂ O	オキシソリニック酸・ ストレプトマイシン 水和剤(1000倍)	1%(w/v) ストレプトマイシン	オキシソリニック酸 水和剤 (1000倍)	カスガマイシン・ 銅水和剤 (1000倍)	ハリラマイシン 液剤 (500倍)
成分	水酸化第二銅	硫酸銅五水和物	ストレプトマイシン硫酸塩 オキシソリニック酸	ストレプトマイシン 硫酸塩	オキシソリニック酸	カスガマイシン 塩基性塩化銅	ハリラマイシン
<i>B. cepacia</i> (n=5)	—	w	+	—	+	w	—
<i>B. cenocepacia</i> (n=3)	—	w	+	—	+	w	—
<i>P. marginalis</i> (n=2)	++	++	+	+	+	+	—
<i>P. ananatis</i> (n=4)	+	++	+	+	+	+	—
<i>E. rhapontici</i> (n=2)	+	+	+	+	+	+	—

※ (—)阻止円形成なし, (+)阻止円形成あり, (++) 直径20mm以上の阻止円, (w)ディスク周辺1mm程度のごくわずかな生育阻害。農薬・試薬は、抗生物質耐性検定用のペーパーディスクに30μLを滴下し、それぞれ2反復を試験した。

表 2 試薬による細菌の最小発育阻止濃度 (MIC)

成分(ppm)	硫酸銅 五水和物	カスガマイシン 一塩酸塩	オキシソリニック酸	ストレプトマイシン 硫酸塩	オキシテトラサイクリン 塩酸塩	ハリラマイシン
<i>B. cepacia</i> (n=5)	1000以上	125-300	1-12	1000以上	750-1000	1000以上
<i>B. cenocepacia</i> (n=3)	1000以上	125-150	2-5	1000以上	1000以上	1000以上
<i>P. marginalis</i> (n=2)	75-200	10-20	3-4	1-5	1-5	1000以上
<i>P. ananatis</i> (n=4)	200-500	1-5	1以下	10-100	1以下	1000以上
<i>E. rhapontici</i> (n=2)	200-300	5-10	1以下	1以下	1-5	1000以上

※ すべての試薬・供試菌株に対し、1, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 125, 150, 200, 250, 300, 500, 750, 1000ppmを2反復試験した。オキシソリニック酸は、2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13,14ppmでも試験した。

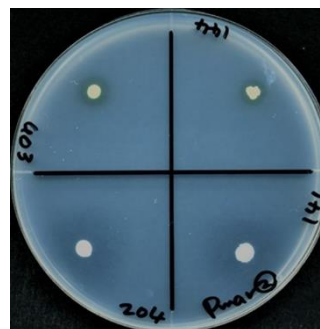
さらに、東北地域の春まき作型においては、収穫直前の時期から貯蔵中にかけて *B. cepacia* complex に属する細菌が優占的に分離されるため、*B. cepacia*, *B. cenocepacia* の *P. marginalis*, *P. ananatis*, *E. rhapontici* に対する抗菌活性を調査した。抗菌活性試験は、1%グルコースを添加した Ayer's 培地に指示菌を懸濁し、被験菌をスポット接種して行った（図 3）。その結果、*B. cepacia* と *B. cenocepacia* は、指示菌である *P. marginalis*, *P. ananatis*, *E. rhapontici* の生育を抑制した。*B. cepacia* は *B.*

cenoecepa に対しても、わずかながら生育抑制効果を示した。また、*P. ananatis*, *E. rhapontici* は *P. marginalis* の生育を抑制した (表 3)。*B. cepacia* complex 細菌は、これまでたびたび生物農薬への利用が検討され (奥田ら, 1997; 奥田ら, 2000; 井上・宮川, 2005), 他種細菌への抗菌活性や競合作用を有する菌株が含まれることが報告されている。東北地域においては、タマネギに病原性を示す *B. cepacia* complex 細菌が、他のタマネギ病原細菌の生育を抑制し、収穫後のりん茎で優位に増殖すると考えられた。

表 3 タマネギ分離細菌の抗菌活性

被験菌	指示菌	<i>B. cenoecepa</i>		<i>P. ananatis</i>	
	<i>B. cepacia</i>	<i>P. marginalis</i>	<i>E. rhapontici</i>		
<i>B. cepacia</i>		w+	++	+	+
<i>B. cenoecepa</i>	—		++	+	+
<i>P. marginalis</i>	—	—		—	—
<i>P. ananatis</i>	—	—	++		++
<i>E. rhapontici</i>	—	—	++	w+	

図 3 抗菌活性試験の様子



4. おわりに

以上の研究を通し、東北地域の春まきタマネギ栽培では、圃場での栽培期間中から貯蔵中にかけて、複数種の腐敗性病原細菌がタマネギに寄生し病害を引き起こすことと、そのおもな病原細菌は *B. cepacia* complex 細菌であることが明らかになった。また、分離された病原細菌群は、種によって異なる薬剤耐性能を示したことから、病原細菌の同定と、病原細菌の活動時期や感染経路に応じた効果的な薬剤防除が不可欠であることが示された。防除体系の一例については、東北地域における春まきタマネギ栽培マニュアル(2020)で紹介されている。オキシリニック酸を成分に含む薬剤は、*B. cepacia* complex 細菌をはじめとする多くの種に有効であることが明らかになったが、*B. cepacia* complex と近縁のイネもみ枯細菌病菌 (*Burkholderia glumae*) では、すでに、オキシリニック酸耐性菌の出現が報告されている (Hikichi et al. 1998; 清田, 2016) ため、使用には細心の配慮が必要である。

一方、農研機構・東北農業研究センターでは、害虫防除が不十分であるとタマネギりん茎の腐敗割合が増加するという横田・福田 (2016) の研究に基づき、*B. cepacia* complex 細菌はタマネギ害虫であるネギアザミウマの食痕上に寄生・増殖し、収穫後のりん茎に腐敗を起こすこと (達ら, 2019b) と、害虫防除によりタマネギりん茎の腐敗が減少することを明らかにしている (東北地域における春まきタマネギ栽培マニュアル, 2020)。さらに現在では、令和 3 年農林水産省みどりの食料システム戦略に基づき、リビングマルチや天敵昆虫、生物農薬の利用を組み合わせた総合的タマネギ病害虫防除技術開発研究を開始している。効果的かつ効率的な防除だけでなく、薬剤耐性菌の出現を回避するためにも、植物病原体の性質と動態に基づく多面的な病害防除対策の開発が期待される。

引用文献

- 後藤正夫・瀧川雄一 (1984). 植物病原細菌同定のための細菌学的性状の調べかた (4). 植物防疫 38: 479–484.
- Goto, M., Hikota, T., Nakajima M., Takikawa, Y. and Tsuyumu S. (1994). Occurrence and properties of copper-resistance in plant pathogenic bacteria. Ann. Phytopath. Soc. Japan 60: 147–153.
- Hikichi, Y., Egami, H., Oguri, Y. and Okuno, T. (1998). Fitness for survival of *Burkholderia glumae* resistant to oxolinic acid in rice plants. J. Gen. Plant. Pathol. 64: 147–152.
- 井上博喜・宮川久義 (2005). CAB-02水和剤と化学農薬併用によるイネ種子伝染性病害の防除. 近中四農研報 4: 15–23.
- 清田裕司 (2016). 福島県におけるイネもみ枯細菌病とイネ苗立枯細菌病の薬剤防除効果. 北日本病虫研報 67: 24–27.
- 守川俊幸・西口真嗣・白川 隆・宮元史登・田村美佳・長谷川優・山崎 篤 (2014). *Pantoea ananatis* によるタマネギの被害と育苗期の防除. 関東病虫研報 61: 175. (講要)
- 室 崇人ら (2020). 東北地域における春まきタマネギ栽培マニュアル
https://www.naro.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/134247.html
- 奥田 充・井上博喜・宮川久義 (2000). イネもみ枯細菌病を抑制する拮抗微生物 CAB-02 の 16S rRNA の塩基配列の解析. 九病虫研報 46: 11–14.
- 奥田 充・角田佳則・宮川久義 (1997). 拮抗細菌 CAB-02 の産生する抗菌性物質. 日植病報 63: 515.
- 大内 昭・大沢高志・西村十郎 (1983). タマネギ腐敗病を起す 2 種の病原細菌, *Erwinia rhapontici* (Millard 1924) Burkholder 1948 および *Pseudomonas marginalis* pv. *marginalis* (Brown 1918) Stevens 1925. 日植病報 49: 619–626.
- 政府統計の総合窓口 (e - S t a t) 作物統計調査 <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&toukei=00500215&tstat=000001013427&year=20190&month=0>
- Sawada, H., Fujikawa, T., Tsuji, M., and Satou M (2020). *Pseudomonas allii* sp. nov., a pathogen causing soft rot of onion in Japan. Int. J. Syst. Evol. Microbiol. ijsem004582
- 白川 隆・西口真嗣・山内智史 (2010). *Pantoea ananatis* によるタマネギ鱗茎腐敗症の発生. 日植病報 76: 176. (講要)
- Sotokawa, N. and Takikawa, Y. (2004). Occurrence of bacterial rot of onion bulbs caused by *Burkholderia cepacia* in Japan. J. Gen. Plant. Pathol. 70: 348–352.
- 田部井英夫・吉田孝二 (1952). 玉葱の細菌性腐敗病 (心腐病) 菌に就いて. 日植病報 16: 180–181. (講要)
- 田中民夫・青田盾彦 (1990) *Pseudomonas gladioli* によるタマネギのりん茎腐敗. 日植病報 56: 393–394. (講要)
- 達 瑞枝・永坂 厚・門田育生 (2019a). 東北地域のタマネギりん茎に発生した腐敗症状の病原細菌について. 日植病報 85: 205–210.
- 達 瑞枝・上杉龍士・横田 啓 (2019b). ネギアザミウマ食害痕が *Burkholderia cepacia* complex 細菌によるタマネギ腐敗病におよぼす影響について. 日植病報 85: 296. (講要)

- Tsuji, M., Kadota, I. and Takikawa, Y. (2020). Genetic and phenotypic characterization of bacterial strains isolated in Japan that resemble *Erwinia rhapontici* and *E. persicinus*. J. Gen. Plant. Pathol. 86: 24–33.
- Tsuji, M. and Kadota, I. (2020). Identification and phylogenetic analysis of *Burkholderia cepacia* complex bacteria isolated from rot diseased onion bulbs in Tohoku region of Japan. J. Gen. Plant. Pathol. 86: 376–386.
- 達 瑞枝・善林 薫 (2020). 東北地域で腐敗タマネギより分離された病原細菌の薬剤耐性について. 日植病報 86: 242. (講要)
- Tsuji, M. and Fuji, S. (2021). The first report of bacterial streak and rot of onion caused by *Pseudomonas viridiflava* in Japan. Plant Dis.
<https://doi.org/10.1094/PDIS-02-21-0296-PDN>
- 横田 啓・福田拓斗 (2016). 岩手県のタマネギ春まき作型におけるネギアザミウマ被害実態と有効薬剤. 北日本病虫研報 67: 154–158.

新規殺菌剤ピジフルメトフェン（ミラビス®）の作用特性と感受性検定

Fungicidal properties and sensitivity study of the novel fungicide, pydiflumetofen (MIRAVIS®)

シンジェンタジャパン株式会社

谷口 しづく

Shizuku Taniguchi · Syngenta Japan K.K. · 21F, Office Tower X, 1-8-10,

Harumi, Chuo-ku, Tokyo, 104-6021, Japan

Abstract

Pydiflumetofen (code name: SYJ-264SC, trade name: MIRAVIS®) is a novel fungicide discovered and being developed by Syngenta. It is a new Succinate DeHydrogenase Inhibitor (SDHI) fungicide that can control a variety of fungal diseases, and a revolutionary fungicide that delivers a new standard in crop protection. The lipophilic structure of its chemical composition can quickly and closely combine with leaf waxy layer. A few hours after application, the pydiflumetofen enters the waxy layer while a small amount enters the plant's body, which provides good protection against various external environmental conditions, achieving a longer-term effect. Furthermore, it has a broader fungicidal spectrum, especially providing excellent performance against *Fusarium* head blight. Sensitivity monitoring has been conducted for Japanese field populations of *Fusarium* spp. and *Microdochium* spp. collected from 1991 to 2020. EC₅₀ value of pydiflumetofen for *Fusarium* spp. and *Microdochium* spp. formed single-peaked normal distribution. It is a sensitivity baseline for APN in Japan. This baseline includes 63 isolates and the sensitivity distribution range from about 0.002 to 1.17 with a median of 0.18 ppm. Sensitivity monitoring method of pydiflumetofen to *Fusarium* spp. and *Microdochium* spp. will be introduced in this paper.

1. はじめに

農薬は、農産物を効率的かつ安定的に生産するために必要な農業用資材である。農薬には殺菌剤、殺虫剤、除草剤などがあり、農産物をさまざまな病虫害、雑草等から守り、農産物の安定生産や高品質化に貢献している。

近年の農薬は、特定の病虫害・雑草に対して特異的に効果を発揮する、選択性の高い農薬が多くなっている。一方で、病虫害・雑草の遺伝子変異等の要因により、防除効果が弱くなるという事例も報告されている。効果の高い薬剤であっても、同一の作用機構を持つ薬剤を繰り返し使用することは薬剤耐性・抵抗性個体の発達や拡大を招き、将来的にその薬剤を使用できなくなったり、抵抗性対策成分との混用や混合が必要になったりする恐れに繋がる。

今ある有用な農薬を長く使用するためにも、耐性菌の発生や拡大を抑えるための耐性菌マネジメントは非常に重要である。

2. 適用病害

ピジフルメトフェンは当社が創出した、ピラゾールカルボキサミド部位および N-メトキシ基を有する新規系統の SDHI (Succinate DeHydrogenase Inhibitor、コハク酸デヒドロゲナーゼ阻害剤) である。

2014 年より SYJ-264SC として (一社) 日本植物防疫協会を通じ全国の農業試験機関等で委託試験が実施され、小麦および大麦の赤かび病および赤さび病において優れた効果が確認された。その後、2020 年 11 月 16 日付でミラビス®フロアブル (ピジフルメトフェン 18.3%) として登録を取得し、現在は表 1 に示す病害を対象に登録を取得している。

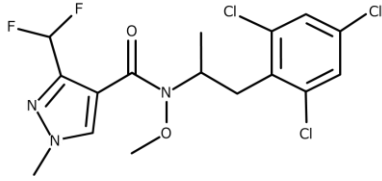
表 1. ミラビス®フロアブルの適用病害および使用方法 (2021 年 11 月 24 日現在)

作物名	適用 病害虫名	希釈倍数	使用 方法	使用時期	本剤の使 用回数	使用液量	ピジフルメト フェンを含む 農薬の総 使用回数
小麦	赤かび病	1500～ 2000 倍	散布	収穫 7 日 前まで	2 回以内	50～150 L/10a	2 回以内
小麦	赤かび病	250～500 倍	散布 (ブームスプレーヤー)	収穫 7 日 前まで	2 回以内	25 L/10a	2 回以内
小麦	赤かび病	8 倍	無人航空機 による散布	収穫 7 日 前まで	2 回以内	800 mL/10a	2 回以内
小麦	赤さび病	1500～ 2000 倍	散布	収穫 7 日 前まで	2 回以内	50～150 L/10a	2 回以内
大麦	赤かび病	1500～ 2000 倍	散布	収穫 14 日前まで	2 回以内	60～150 L/10a	2 回以内
大麦	赤かび病	8 倍	無人航空機 による散布	収穫 14 日前まで	2 回以内	800 mL/10a	2 回以内

3. 物理化学性と安全性

ピジフルメトフェンは表 2 に示す通り、ピラゾールカルボキサミド部位および N-メトキシ基を有する化合物であり、物理化学性は良好で、人畜安全性及び水生生物に対する安全性が高いことが確認されている。作物安全性は高く、ミツバチや天敵昆虫への影響も認められないため、IPM (Integrated Pest Management、総合防除) への適合性も高い薬剤である。

表 2. 物理化学性と安全性

一般名	ピジフルメトフェン (pydiflumetofen)
製品名	ミラビス®フロアブル
化学名	(IUPAC) : 3-(ジフルオロメチル)- <i>N</i> -メトキシ-1-メチル- <i>N</i> [(<i>RS</i>)-1-メチル-2-(2,4,6-トリクロロフェニル)エチル]-1 <i>H</i> -ピラゾール-4-カルボキサミド
作用機構分類番号 (RAC 番号)	殺菌剤分類 7
CAS 登録番号	1228284-64-7
構造式	
分子式	C ₁₆ H ₁₆ Cl ₃ F ₂ N ₃ O ₂
分子量	426.7
水溶解度	1.5 mg/L (20-25°C、pH6.5)
オクタノール/水分配係数	Log Pow=3.8 (25°C)
蒸気圧	1.84x10 ⁻⁷ Pa (20°C)、5.3x10 ⁻⁷ Pa (25°C)
人畜毒性 (製品)	
急性経口毒性	LD ₅₀ 2958 mg/kg ラット(♀)
急性経皮毒性	LD ₅₀ >5000 mg/kg ラット
急性吸入毒性	LC ₅₀ >3.5 mg/L ラット (4h)
皮膚腐食性/皮膚刺激性	刺激性なし ウサギ
眼刺激性	刺激性なし ウサギ
呼吸器感作性または皮膚感作性	感作性なし マウス
水産動物への影響 (製品)	
魚毒性	LC ₅₀ 1.4 mg/L ニジマス (96h)
甲殻類毒性	LC ₅₀ 2.1 mg/L オオミジンコ (48h)
藻類毒性	ErC ₅₀ >100 mg/L、NOEC 0.32 mg/L 緑藻 (72h)
ミツバチへの影響 (原体)	影響は認められなかった

4. 作用機構

ピジフルメトフェンは、ミトコンドリア内膜上の電子伝達系複合体 II のコハク酸脱水素酵素を阻害する (Buxton et al. 2016, Leiming et al, 2020)。これにより病原菌のエネルギー循環が阻害され、殺菌作用が示される。また、ピジフルメトフェンはピラゾールカルボキサミド部位を持つ SDHI であり、*N*-メトキシ基を持つことで *Fusarium* 属菌に対して極めて高い効果を示す独自のスペクトラムを有する。さらに、親油性部位を持つため作物のワックス層への素早い吸着を可能とする (図 1)。

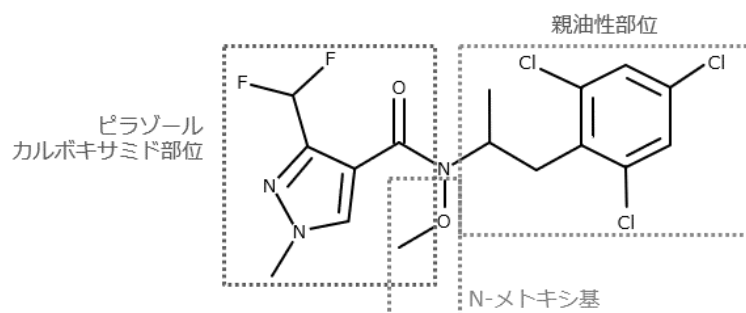


図 1. ピジフルメトフェンの構造式

5. 作用特性

5-1. 麦類赤かび病に対する高い防除効果

ピジフルメトフェンは麦類赤かび病の原因菌である *Fusarium graminearum* や *F. culmorum* に対して極低量でも菌糸伸長阻害や孢子発芽伸長阻害効果を示し、高い基礎活性を有することが明らかとなった（図 2）。麦類の赤かび病は *Fusarium* 属菌だけでなく、*Microdochium nivale* もその原因菌となる。ピジフルメトフェン（ミラビス®フロアブル）はどちらの病原菌に対しても優れた防除効果を有することが明らかとなった（図 3 および 4）。

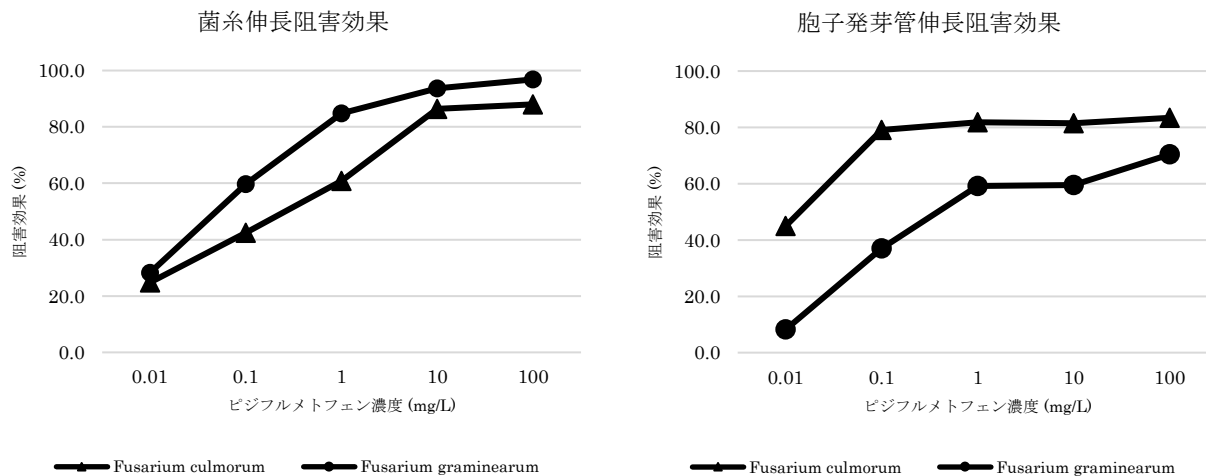


図 2. ピジフルメトフェンの *Fusarium* 属菌に対する抗菌活性効果

試験場所：シンジェンタ社（2013 年スイス）

試験方法：ピジフルメトフェンをエタノールで溶解し、最終濃度が 0.01~100 mg/L になるように寒天培地に添加して使用した。エタノールのみを添加した対照区と比較して阻害効果を算出した。

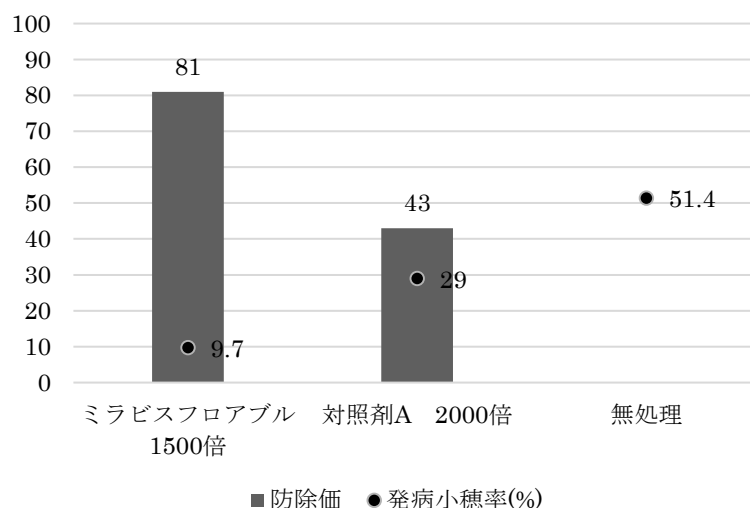


図 3. ミラビス®フロアブルの *Fusarium* 属菌優占圃場における小麦赤かび病に対する効果

試験場所：（一社）北海道植物防疫協会（2016 年）

品種：ハルユタカ（4 月 25 日播種）

発生状況：甚発生（6 月 10 日 *Fusarium* 属菌接種）

処理日：7 月 1 日（開花始期）、7 日、14 日

調査日：7 月 30 日

調査方法：各区 100 穂の発病小穂率から防除価を求めた。

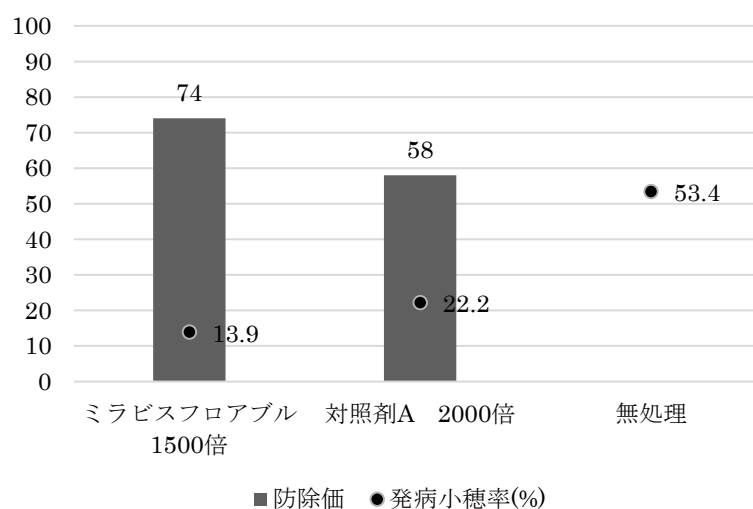


図 4. ミラビス®フロアブルの *Microdochium* 属菌優占圃場における小麦赤かび病に対する効果

試験場所：北海道立総合研究機構 十勝農業試験場（2016 年）

品種：きたほなみ（2015 年 9 月 17 日播種）

発生状況：甚発生（5 月 25 日 *Microdochium* 属菌接種）

処理日：6 月 10 日（開花始期）、18 日

調査日：7 月 6 日

調査方法：各区 100 穂の発病小穂率から防除価を求めた。

5-2. 赤かび病菌の産生するかび毒に対する低減効果

小麦赤かび病は、かび毒であるデオキシニバレノール（DON）を産出する。DON に発がん性は認められていないが、嘔吐、腹痛および下痢などの中毒症状が現れる急性毒性と、成長抑制や免疫機能抑制などの症状が現れる慢性毒性を引き起こす。そのため、厚生労働省により、2022 年 4 月 1 日から小麦について DON を 1.0 mg/kg を超えて含有するものであってはならない旨の成分規格が新たに設定された。

DON 汚染低減のためには赤かび粒および発病穂を少なくすることが重要であるが、薬剤によっては赤かび病の発生は抑えられても DON 低減効果は低いものもある。そのため、ピジフルメトフェン処理区の DON 濃度についても調べたところ、図 5 が示す通り、ピジフルメトフェンは DON 低減効果も有することが明らかとなった。

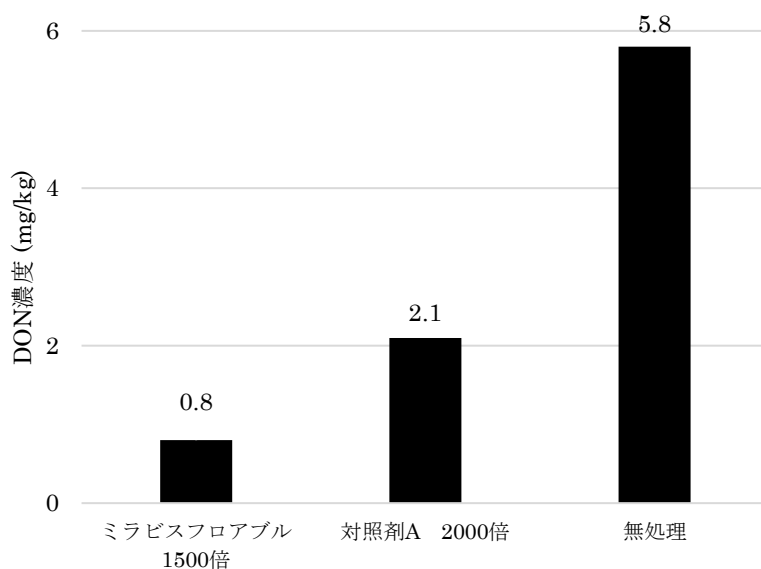


図 5. ミラビス®フロアブルの DON 低減に対する効果

試験場所：北海道立総合研究機構 十勝農業試験場（2018 年）

品種：ハルユタカ（4 月 19 日播種）

発生状況：甚発生（6 月 8 日接種；*F. graminearum*）

処理日：6 月 30 日（開花始期）、7 月 6 日、12 日、20 日

調査日：7 月 27 日

5-3. 優れた耐雨性

図 1 で示したように、ピジフルメトフェンは親油性部位を持つため、作物のワックス層へ素早く吸着し、内部へと浸透することができる。これにより、作物内で常にピジフルメトフェンが存在することが可能となる（図 6）。さらに、ピジフルメトフェンは病原菌に対して低薬量でも高い抗菌活性を示すため（図 2）、作物内にわずかでも存在すれば、効果を発揮することができる。

また、ピジフルメトフェン（ミラビス®フロアブル）の降雨試験では、薬剤散布 20 分後に降雨処理を行っても防除効果に大きな低減は認められず、優れた耐雨性を示すことが明らかとなった（図 7）。

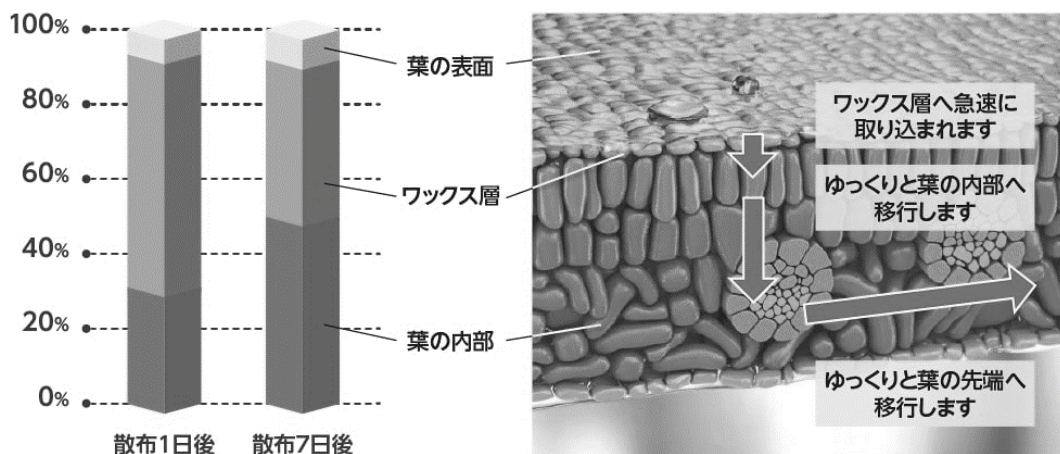


図 6. ピジフルメトフェンの葉における分布割合と植物体内における移行性のイメージ

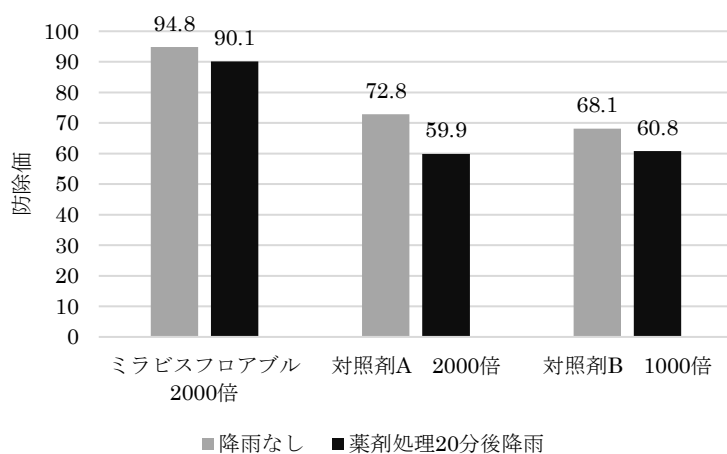


図 7. ミラビス®フロアブルの耐雨性

試験場所：シンジェンタジャパン（株） 中央研究所（2021 年）

品種：春よ恋

播種日： 3 月 25 日

処理日： 5 月 28 日

処理水量：100L/10a

降雨強度：15.5 mm/h、1 時間（人工降雨装置）

調査日： 6 月 21 日

発生状況：甚発生（自然発生）無処理区発病小穂率 23.2%

調査方法：各区 90 穂について、散布 24 日後に発病小穂を調査し、発病小穂率から防除価を求めた。

6. *Fusarium* 属菌および *Microdochium* 属菌感受性検定法

コムギなどの罹病部位を 3%次亜塩素酸ナトリウムで表面殺菌し、100 mg/L ストレプトマイシンおよびアンピシリン入りの PDA 培地に置床して、20℃、UV ランプ下で 7 日間培養して菌株を単離した。

単菌糸分離により得られた菌株を GEA 培地 (Homogenized frozen green pea 160 g、Sucrose 5 g、Agar 20 g/L、R. J. Birchmore and B. Forster (1996) 参考) に植菌し、20℃、BLB ランプ下で菌糸がシャーレ全体に広がるまで前培養した。その後、表層の菌糸を除去し、再度 20℃、BLB ランプ下で 3 日間培養して胞子を形成させた。

検定培地は PDA 培地を使用した。ピジフルメトフェンの最終濃度が 0、0.01、0.1、1、10、100 ppm となるように薬剤添加 PDA 培地を調製し、図 8 のように 24 穴プレートに 900 μ L ずつ分注した。前培養していた胞子を 1×10^5 spore/mL になるように滅菌水で調整し、これを 24 穴プレートに 50 μ L ずつ分注した。これを 20℃、BLB ランプ下で 4 日間培養し、0 ppm 上の菌の生育具合を 100% として、目視により各濃度下での菌生育具合をパーセンテージで評価し、最少二乗法を用いて EC_{50} 値を算出した。

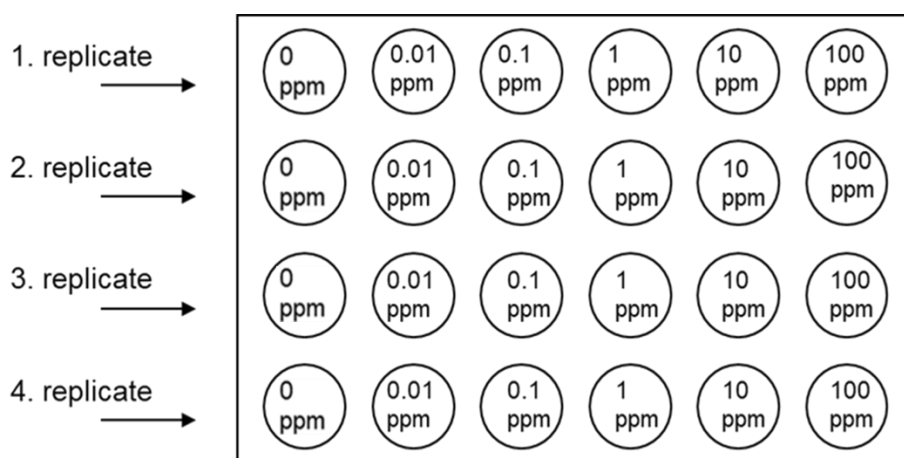


図 8. *Fusarium* 属菌および *Microdochium* 属菌の感受性検定培地

7. 感受性状況

1992 年から 2020 年にかけてコムギから採取した 56 菌株の *Fusarium* 属菌 (*F. graminearum* 36 菌株、*F. asiaticum* 7 菌株、*F. avenaceum* 6 菌株、*F. kyushuense* 3 菌株、*F. cerealis* 2 菌株および *F. culmorum* 2 菌株) に対するピジフルメトフェンの EC_{50} 値は 0.002~1.17 ppm の範囲に分布し、中央値は 0.22 ppm であった。また、1991 年から 2020 年にかけてコムギから採取した 7 菌株の *Microdochium* 属菌 (*M. nivale* 6 菌株および *M. majus* 1 菌株) に対するピジフルメトフェンの EC_{50} 値は 0.04~1.05 ppm の範囲に分布し、中央値は 0.06 ppm であった。これらの感受性は菌種、採取年次および採取地による大きな変動は認められなかった (図 9 および 10)。また、供試した 63 菌株のうち、 EC_{50} 値が 1.0 ppm を超えた菌株が *F. graminearum* と *M. nivale* で 1 菌株ずつ認められた。この 2 つの菌株がピジフルメトフェンに対して感受性が低いのか小麦への接種試験によって確認を行う予定である。

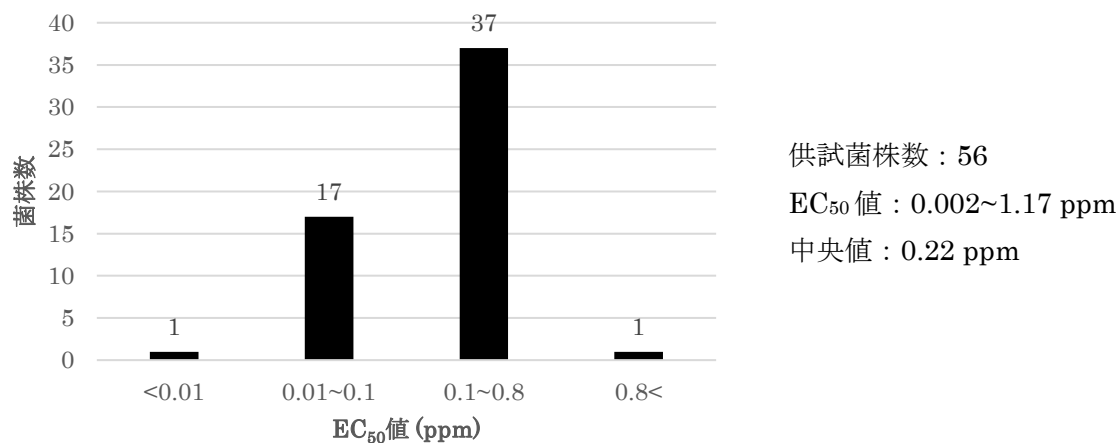


図 9. 1992 年~2020 年に採取した *Fusarium* 属菌のピジフルメトフェンに対する感受性

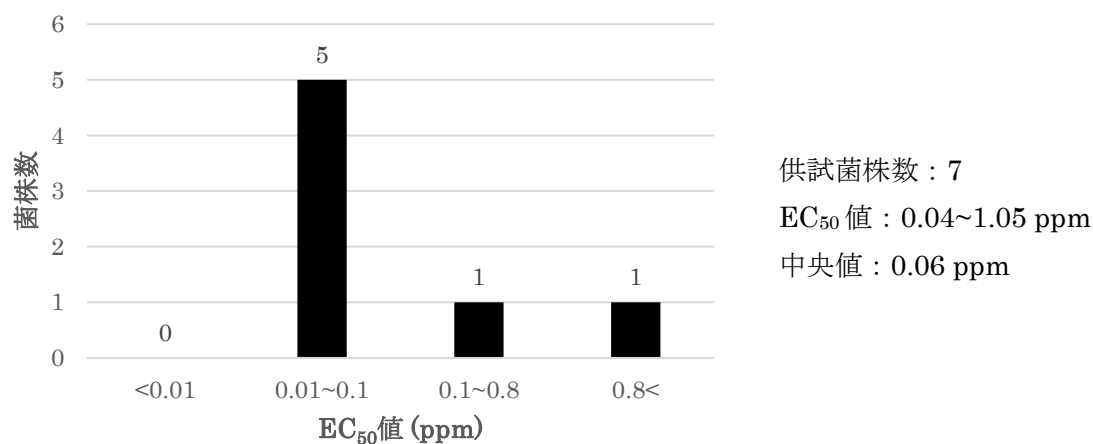


図 10. 1991 年~2020 年に採取した *Microdochium* 属菌のピジフルメトフェンに対する感受性

8. おわりに

ピジフルメトフェン（ミラビス®フロアブル）は *Fusarium* 属菌や *Microdochium* 属菌に対して高い殺菌効果を示す SDHI であり、麦類の赤かび病菌に対して特に高い効果を示す。ピジフルメトフェンは既存の赤かび病防除剤とは作用機構が異なるため、ローテーション散布による耐性菌リスクの低減が期待できる。しかしながら、SDHI 剤の耐性リスクは低くはないため（Frac Code List 2021 参照）、今後の耐性菌管理は必須である。

今回感受性検定を行った菌株はすべてピジフルメトフェンが使用される前の圃場から採取されている。したがって、本結果はコムギの *Fusarium* 属菌および *Microdochium* 属菌のピジフルメトフェンに対する感受性のベースラインになると考えられる。本結果を参考にし、ピジフルメトフェンの耐性菌発達や拡大リスク低減のために感受性モニタリングを継続し、本剤の普及に努めたいと考える。

また、ピジフルメトフェン（ミラビス®フロアブル）の国内における農薬登録は小麦および大麦で取得

しているが、海外では麦類以外にも多くの野菜および果樹に対して農薬登録を取得している。今後はピジフルメトフェンの幅広い活性を活かすために指導機関および生産者の意見を伺いながら本剤の開発・普及に努め、効率的で高品質な作物生産に貢献したいと考えている。

参考文献

- K. Buxton, T. Harp, A. Tally and H. Mclean (2016) Adepidyn: A new fungicide active ingredient for control of foliar diseases. *Phytopathology* 106: 61.
- H. Leiming, C. Kaidi, S. Yufei, L. Tongtong, L. Ning, M. Wei and L. Feng (2020) Activity of the Novel Succinate Dehydrogenase Inhibitor Fungicide Pydiflumetofen Against SDHI-Sensitive and SDHI-Resistant Isolates of *Botrytis cinerea* and Efficacy Against Gray Mold. *Plant Disease* 104: 2168-2173.
- R. J. Birchmore and B. Forster (1996) FRAC Methods for Monitoring the Sensitivity of *Botrytis cinerea* to Anilino Pyrimidine Fungicides. *Bulletin OEPP/EPPO Bulletin* 26: 181-197.

宮城県におけるダイズ紫斑病 QoI 剤耐性菌発生実態について
Current status of QoI Resistant Purple Seed Stain in Miyagi Prefecture”

宮城県古川農業試験場

宮野法近

Norichika Miyano, Miyagi Prefecture Furukawa Agricultural Experiment Station,
88 Osaki Fukoku, Furukawa, Osaki, Miyagi 989-6227, Japan
e-mail : miyano-no458@pref.miyagi.lg.jp

Abstract

In Miyagi prefecture, Purple Seed Stain caused by *Cercospora kikuchii* was controlled mainly by DMI fungicides in the past, however since 2018, it has been controlled mainly by QoI fungicides. QoI fungicides have a high risk of developing Resistance Strains so that monitoring by medium assay started in 2018 to understand the development condition of QoI Resistant Purple Seed Stain in Miyagi prefecture.

As a result, Purple Seed Stains isolated from 2 districts in 2018, 4 districts in 2019, and 6 districts in 2020 showed hyphal elongation at 128 ppm, which is a border dose regarded as Resistance.

要約

宮城県においてダイズ紫斑病(*Cercospora kikuchii*)の防除は DMI 剤を中心に行われてきたが、2018 年以降は QoI 剤を中心とした防除が行われている。QoI 剤は耐性菌の発生リスクが高いため、2018 年から県内における耐性菌発生状況を把握するために培地検定によるモニタリングを開始した。その結果、2018 年に 2 地区、2019 年は 4 地区、2020 年は 6 地区から分離した紫斑病菌で、耐性菌の目安としている 128ppm で菌糸の伸張が見られた。

はじめに

ダイズ紫斑病は糸状菌による病害で、発病すると大豆表面に紫色の斑点が生じ品質低下をもたらすことが問題となる病害である。本病害は種子伝染性病害であり栽培にあたっては健全種子の使用が基本であるが、生育期間中に罹病葉などからの孢子飛散により感染する場合もあることから、生産現場では薬剤による種子消毒と開花後の茎葉散布処理による防除を実施するのが一般的である。

これまで水稻の箱施用剤において、QoI 剤（オリサストロビン剤）耐性イネいもち病菌の発生が確認されたのはまだ記憶に新しいところであるが、本病害の防除薬剤においても QoI 剤（アゾキシストロビン剤）があり、その効果の高さから生産現場で使用される場合が多い。本病害に対する QoI 剤使用についても常に耐性菌の発生が懸念されていたが、令和 2 年度に青森県¹⁾で、令和 3 年度には秋田県²⁾で耐性菌に関する報告があった。本報告では、これまでの本県における QoI 剤耐性ダイズ紫斑病菌のモニタリング実施状況について紹介する。

1 宮城県における大豆の作付け状況

本県における大豆栽培面積は北海道に次ぐ全国第2位で、平成20年度に12,000haを超えたが、令和2年度は10,800haとここ数年は11,000ha前後で推移している（図1）。生産者戸数は暫減傾向であるが、沿岸部を中心に大規模生産者が増加しており1経営体当りの栽培面積は増加している。栽培はほぼ水稻の転作として行われており、作付け地もほぼ転作田となっている（図1）。令和2年度の品種構成は「ミヤギシロメ」が47%、「タンレイ」が25%、「タチナガハ」が22.8%であり、この10年間はほぼ同じ品種構成割合となっている（図2）。本病害に対する抵抗性は「ミヤギシロメ」>「あやこがね」>「タンレイ」³⁾となっており、本県では「ミヤギシロメ」は1回、「ミヤギシロメ」以外は2回防除を推奨している（表1）。

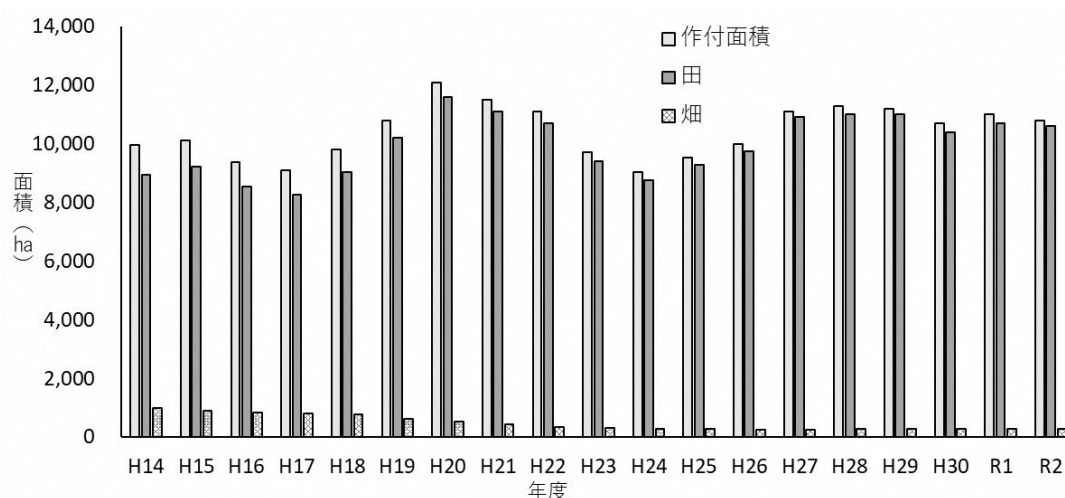


図1 宮城県における大豆作付面積及び作付地割合（農林水産省作物統計データ⁴⁾より作成）

2 宮城県におけるダイズ紫斑病の発生状況と防除体系

昭和50年代中頃までは紫斑病抵抗性が強い「ミヤギシロメ」の作付けが多かったため、紫斑病はあまり問題となっていなかったが、50年代後半から紫斑病抵抗性は劣るが、晩播適性があり子実の外観品質が優れる「タンレイ」の作付けが増加するに従い、紫斑病の発生が増加してきた。近年の県内における発病状況は発生が多い年次と少ない年次の差が大きく、発生が少ない年次では発病面積率で1%程度だが、多い年次では15%程度であった（図3）。本県におけるダイズ紫斑病の防除体系は、播種前の種子消毒と子実肥大初期から中期にかけて1～2回の茎葉散布処理を基本としている（表1）。種子消毒に用いる剤についてはほぼチアメトキサム・フルジオキシニル・メタラキシルM剤であり、茎葉散布剤としては防除手段の約90%が無人航空機によることから航空防除に登録のある剤が中心となっている。平成29年度まではDMI剤（イミベンコナゾール剤）とQoI剤が概ね半々程度の使用割合であったが、平成30年度以降はDMI剤の使用ができなくなったこともあり、ややQoI剤の使用割合が高くなっている（データ略）。

QoI剤の使用に関しては耐性菌発生リスクが高い剤であることから、連用は避けるよう指導を行っているが、航空防除に登録がありかつ効果の高い剤となるとQoI剤は外せないというのが生産現場の実情である。

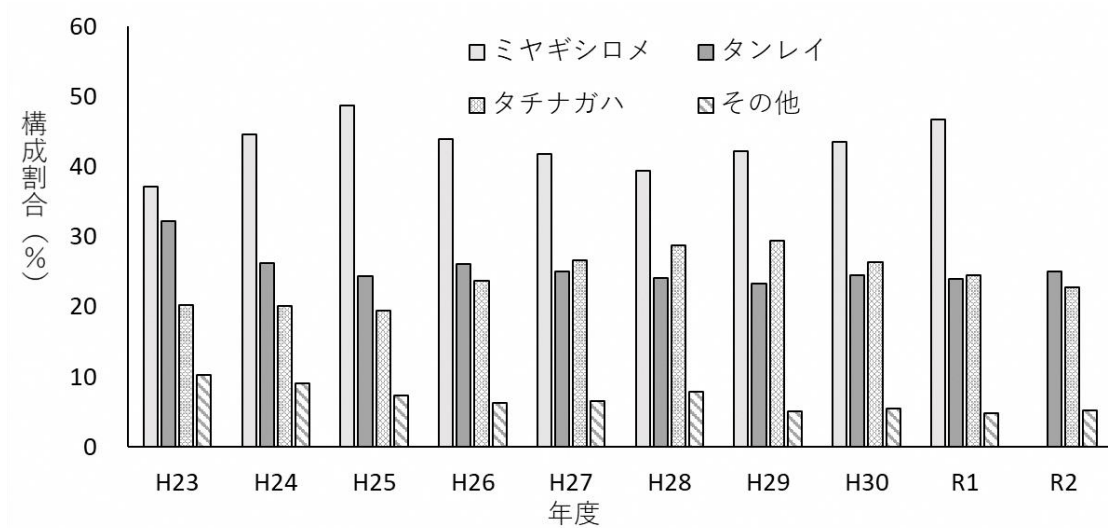


図2 宮城県における作付け大豆の品種構成割合（宮城県大豆・麦指導指針より作成）

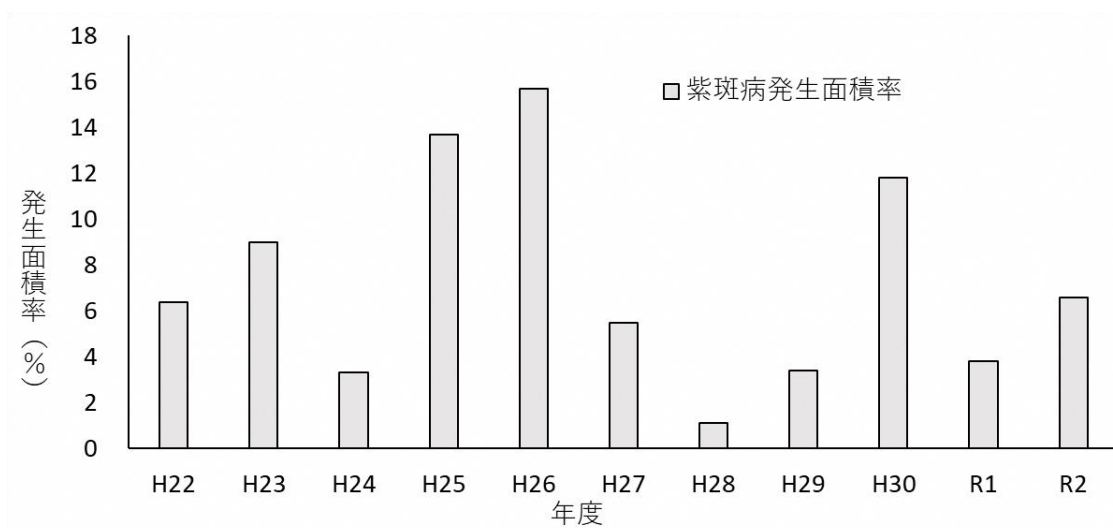


図3 宮城県におけるダイズ紫斑病発生面積率

表 1 宮城県における主なダイズ品種の紫斑病防除体系

種子処理	子実肥大初期から子実肥大中期 の茎葉散布
タンレイ	1 回（開花 2 5 ～ 3 0 日後に実施）
ミヤギシロメ	ミヤギシロメ
あやこがね	
タチナガハ	2 回（1 回目から 7 ～ 1 0 日後に追加実施）
	タンレイ
	あやこがね
	タチナガハ

3 QoI 剤耐性ダイズ紫斑病菌のモニタリング状況

本県で使用割合の高い DMI 剤が平成 30 年度以降使用できなくなることは事前に通知されていたが、その当時 QoI 剤以外で適当な代替剤がなかったこともあり、QoI 剤の使用割合が高まることが予想された。このため、平成 30 年度から QoI 剤耐性ダイズ紫斑病菌のモニタリングを行っている。基本的には病害虫防除所の巡回調査圃と古川農試場内圃場から採取したものに加え、県内の普及センターから持ち込みがあったものについて培地検定を実施している（表 2）。平成 30 年は 5 地区から 25 菌株を供試し、2 地区 3 菌株が 128ppm でも培地上で菌糸の伸張が見られた（図 4、表 3：他の菌株は 16ppm 以下で菌糸伸張は見られなかった）。128ppm でも培地上で菌糸の伸張が見られた菌株は、1 地区 1 菌株が過去 3 年間に於いて 2 回防除のうち 1 回 QoI 剤を使用していて、1 地区 2 菌株は前年度 2 回防除の 2 回とも QoI 剤を使用していた。令和元年は 6 地区から 21 菌株を供試し、4 地区 4 菌株が 128ppm でも培地上で菌糸の伸張が見られた（図 5、表 4：他の菌株は 8ppm 以下で菌糸伸張は見られなかった）。128ppm でも培地上で菌糸の伸張が見られた菌株は、1 地区 1 菌株は過去に QoI 剤の使用歴がなく、3 地区 3 菌株は過去 2 年間に於いて 2 回防除のうち 1 回 QoI 剤を使用していた。令和 2 年は 9 地区 50 菌株を供試し、6 地区 16 菌株が 128ppm 以上でも培地上で菌糸の伸張が見られた（図 6、表 5：31 菌株は 16ppm 以下で菌糸伸張は見られなかったが、3 菌株は 64～128ppm で伸張した）。128ppm 以上でも培地上で菌糸の伸張が見られた菌株は、3 地区 4 菌株は過去に QoI 剤の使用歴はなかった。2 地区 6 菌株は過去 4 年間に於いて 2 回防除のうち 1 回 QoI 剤を使用していて、3 地区 6 菌株は前年度から 2 回防除のうち 1 回 QoI 剤を使用していた。年次によって個体別の MIC 値にばらつきはあるが、128ppm 以上の場合には感受性の低下が疑われた。MIC 値 128ppm 以上となった菌株の発生地点率は平成 30 年が 12%、令和元年が 33.3%、令和 2 年が 42%と増加傾向にはあるが、3 か年の EC50 推定値は必ずしも増加傾向ではなかった（表 6）。また、過去 11 年間の県内ダイズ紫斑病発生面積率（表 7）では、年次により高い低いは見られるが、高かった年次は子実肥大期や成熟期に降雨が多かった年次で、防除タイミングのずれや刈り遅れの影響も考えられるため、必ずしも QoI 剤への感受性低下による防除効低下とは判断できない状況である。

表 2

検定方法

アゾキシストロビン水和剤有効成分を所定濃度（0ppm, 2ⁿppm (n=1, 2, 3, …, 7)）になるよう調整したサリチルヒドロキシム酸（1mM：代替経路阻害）添加PDA培地を検定培地とした。

分離菌株をPDA培地、25℃で8日間培養後、菌叢先端部をボーラー（ペン軸を使用）2.3mmの円盤状に切り出し、菌叢面を検定培地に接するように置床した。

その後、25℃で3日間培養後の各濃度における菌糸伸長の有無を調査した。

アゾキシストロビン水和剤使用歴がない、または効果の低下が見られないほ場から採集した菌株を感受性菌群※とし、MIC値（最小発育阻止濃度）の分布から検定濃度を設定し、感受性低下についての評価を行った。

最高濃度水準128ppmでも菌糸伸長がみられ感受性低下が疑われる菌株を除いたものを感受性菌群として、対数変換したアゾキシストロビン濃度を説明変数、濃度0ppmと各濃度における菌糸伸長の有無を目的変数としたプロビット回帰分析によりEC50（50%効果濃度）を算出した。

図 4 平成 30 年サンプル採取地

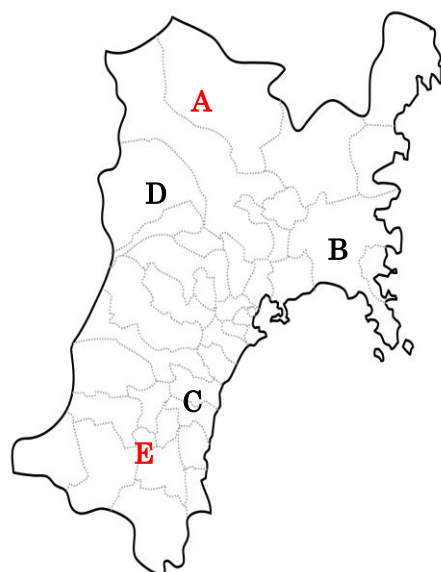


表 3 平成 30 年分離株の培地検定による MIC 値

採取地域	培地検定 MIC値 (ppm)	QOI剤 使用歴
A	4	2 回防除のうち 1 回使用（過去 2 年間含む）
A	2	2 回防除のうち 1 回使用（過去 2 年間含む）
A	128	2 回防除のうち 1 回使用（過去 2 年間含む）
A	2	2 回防除のうち 1 回使用（過去 2 年間含む）
A	2	2 回防除のうち 1 回使用（過去 2 年間含む）
A	2	使用歴なし
A	4	2 回防除のうち 1 回使用（過去 2 年間含む）
A	2	2 回防除のうち 1 回使用（過去 2 年間含む）
A	1	2 回防除のうち 1 回使用（過去 2 年間含む）
A	4	使用歴なし
B	2	当年 2 回防除で 2 回使用、過去 2 年間は使用歴なし
B	1	使用歴なし
C	4	使用歴なし
D	2	前年、当年 2 回防除で 1 回使用、2 年前は使用歴なし
D	2	前年、当年 2 回防除で 1 回使用、2 年前は使用歴なし
D	8	2 回防除のうち 1 回使用（前年も）
D	1	2 回防除のうち 1 回使用（前年も）
D	8	2 回防除のうち 1 回使用（前年も）
E	8	当年 2 回防除で 2 回使用、過去 2 年間は使用歴なし
E	128	当年 2 回防除で 2 回使用、過去 2 年間は使用歴なし
E	128	当年 2 回防除で 2 回使用、過去 2 年間は使用歴なし
E	16	2 回防除のうち 1 回使用（過去 2 年間含む）
E	1	2 回防除のうち 1 回使用（過去 2 年間含む）
E	1	2 回防除のうち 1 回使用（過去 2 年間含む）
E	16	2 回防除のうち 1 回使用（過去 2 年間含む）

図5 令和元年サンプル採取地

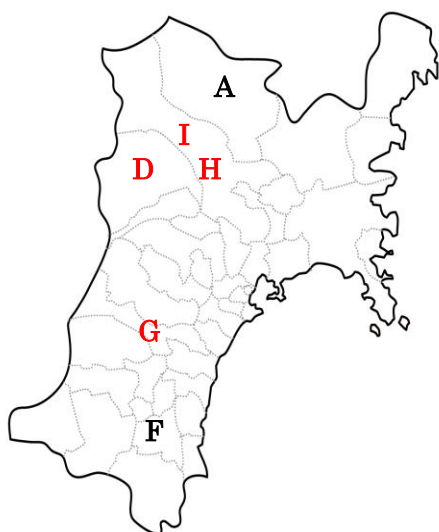


表4 令和元年分離株の培地検定による MIC 値

採取地域	培地検定		QOI剤 使用歴
	MIC値	(ppm)	
F	4		使用歴なし
F	1		使用歴なし
G	1		使用歴なし
G	2		使用歴なし
G	128		2回防除のうち1回使用（過去2年間含む）
D	1		2回防除のうち1回使用（過去2年間含む）
D	1		2回防除のうち1回使用（過去2年間含む）
D	1		2回防除のうち1回使用（過去2年間含む）
D	128		2回防除のうち1回使用（過去2年間含む）
H	128		2回防除のうち1回使用（過去2年間含む）
A	4		2回防除のうち1回使用（過去2年間含む）
I	1		2回防除のうち1回使用（過去2年間含む）
I	8		2回防除のうち1回使用（過去2年間含む）
I	128		本年のみ2回使用（過去2年間は2回防除のうち1回）
I	4		使用歴なし
I	1		使用歴なし
I	1		使用歴なし
I	2		使用歴なし
I	2		使用歴なし
I	1		使用歴なし
I	8		使用歴なし

I は古川農試場内圃場

表5 令和2年分離株の培地検定による MIC 値

採取地域	培地検定		QOI剤 使用歴	採取地域	培地検定		QOI剤 使用歴
	MIC値	(ppm)			MIC値	(ppm)	
F	128>		使用歴なし	H	128>		2回防除のうち1回使用（過去2年間含む）
F	128>		使用歴なし	H	128>		2回防除のうち1回使用（過去2年間含む）
G	128>		2回防除のうち1回使用（過去2年間含む）	H	128>		2回防除のうち1回使用（過去2年間含む）
G	128>		2回防除のうち1回使用（過去2年間含む）	H	128>		2回防除のうち1回使用（過去2年間含む）
G	128>		2回防除のうち1回使用（過去2年間含む）	H	128>		2回防除のうち1回使用（過去2年間含む）
G	4		2回防除のうち1回使用（過去2年間含む）	H	128>		使用歴なし
G	4		2回防除のうち1回使用（過去2年間含む）	H	4		使用歴なし
G	1		2回防除のうち1回使用（過去2年間含む）	H	128		使用歴なし
G	4		2回防除のうち1回使用（過去2年間含む）	H	16		使用歴なし
G	4		2回防除のうち1回使用（過去2年間含む）	H	8		使用歴なし
G	2		2回防除のうち1回使用（過去2年間含む）	H	64		使用歴なし
G	2		2回防除のうち1回使用（過去2年間含む）	H	16		使用歴なし
G	2		2回防除のうち1回使用（過去2年間含む）	H	4		使用歴なし
G	2		2回防除のうち1回使用（過去2年間含む）	H	1		使用歴なし
G	128>		使用歴なし	I	16		2回防除のうち1回使用（過去2年間含む）
G	8		使用歴なし	I	8		2回防除のうち1回使用（過去2年間含む）
D	128>		使用歴なし	I	4		2回防除のうち1回使用（過去2年間含む）
D	128>		使用歴なし	I	1		2回防除のうち1回使用（過去2年間含む）
A	128>		2回防除のうち1回使用（過去2年間含む）	I	8		使用歴なし
A	128>		2回防除のうち1回使用（過去2年間含む）	I	2		使用歴なし
A	4		使用歴なし	I	2		使用歴なし
B	8		使用歴なし	J	4		使用歴なし
B	128>		使用歴なし	K	4		2回防除のうち1回使用（過去2年間含む）
B	128		使用歴なし	K	2		2回防除のうち1回使用（過去2年間含む）
B	8		使用歴なし	K	2		2回防除のうち1回使用（過去2年間含む）
B	4		使用歴なし	K	1		2回防除のうち1回使用（過去2年間含む）

I は古川農試場内圃場

図6 令和2年サンプル採取地

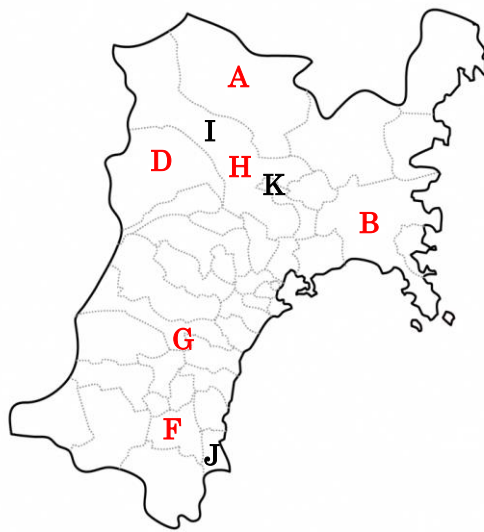


表6 アゾキシストロビンに対するダイズ紫斑病菌のEC50 推定値

調査年	EC ₅₀ 値 (ppm)
平成30	2.00
令和元	1.10
令和2	3.31

表7 宮城県におけるダイズ紫斑病発生面積率

調査年	発生面積率 (%)	要因解析
平成22	9.0	成熟期後半の降雨多,刈遅れ
平成23	3.3	
平成24	13.7	子実肥大期の降雨多,防除遅れ
平成25	15.7	成熟期の降雨多,刈遅れ
平成26	5.5	
平成27	1.1	
平成28	3.4	
平成29	11.8	成熟期の降雨多,刈遅れ
平成30	3.8	
令和元	6.6	
令和2	9.0	子実肥大期,成熟期の降雨多

病害虫防除所発行の植物防疫年報より⁵⁾

4 今後の対応

QoI 剤に対する感受性の低下が疑われるダイズ紫斑病菌は、県内の大豆生産圃場で確認されており、発生地点も増加してきている。現在のところ生産現場で QoI 剤の効果低下は確認されていないが、今後効果の低下が確認されれば使用の中止も懸念されることから、代替剤について検討を行っている。本県における紫斑病防除の約 9 割が無人航空機によるため、無人航空機での登録があるジフェノコナゾール剤やジエトフェンカルブ・ベノミル剤、テブフロキン剤等を中心に検討している。今後も QoI 剤に限らず耐性菌の発生に留意していく。

引用・参考文献

- 1)青森県(2021)令和 2 年度普及する技術・指導参考資料
- 2)秋田県病害虫防除所(2021)令和 3 年度農作物病害虫防除対策情報. 第 3 号
- 3)宮城県(2006)平成 18 年普及に移す技術第 81 号
- 4)農林水産省 HP 統計情報分野別分類/作付面積・生産量、被害、家畜の頭数など/作物統計
/面積調査より
- 5)宮城県(2010～2020)植物防疫年報

秋田県におけるダイズ紫斑病の薬剤耐性菌の動向

Trends of fungicide-resistant strains of purple stain (*Cercospora kikuchii*) in Akita prefecture.

秋田県農業試験場

渡辺 恭平

Kyohei Watanabe, Akita Agricultural Experiment Station ,

34-1 Aikawa Yuwa, Akita-shi 010-1231, Japan

Abstract

Soybeans are mainly cultivated in rice field conversion fields in Akita Prefecture, and the cultivation area is 8,650ha in 2020. Akita prefecture is the third largest soybean producing region after Hokkaido and Miyagi Prefecture.

Purple stain caused by fungus (*Cercospora kikuchii*) is one of the most important diseases of soybeans. Because it has a big influence on the quality of harvests, when purple grains are mixed, in many soybean fields, control with pesticide is carried out. Previously thiophanate-methyl (benzimidazole) fungicides have been used to control purple stain in Akita Prefecture. However, benzimidazole-resistant strains of *C.kikuchii* was found in soybean fields in Akita Prefecture in 2011.

In recent years, the appearance of QoI-resistant strains of *Cercospora kikuchii* has been confirmed in neighboring prefectures such as Iwate Prefecture (Sasaki et al. 2020). There is also concern that the sensitivity will decrease in Akita prefecture. Therefore, we examined samples of *C.kikuchii* from several soybean cultivated regions in Akita Prefecture in 2020 for their sensitivities to Azoxystrobin (strobilurin, QoI) and Thiophanate-methyl (benzimidazole).

When susceptibility to azoxystrobin (strobilurin, QoI) was tested, it was lowered in 39 strains (51.3%). As a result of genetic analysis by PCR method, it was confirmed that 36 strains (50.7%) of the 71 strains were QoI-resistant. On the other hand, 26 strains (34.2%) were benzimidazole-resistant in 2020.

1. はじめに

秋田県における大豆は水田転作の重点作物と位置づけられ、生産振興を図っている。2001年以降の大豆の栽培面積は 8,000ha 前後で推移し、2020 年の栽培面積は 8,650ha¹⁾であり(図 1)、北海道、宮城県に次いで 3 番目の栽培面積となっている。また、作付品種のほとんどは「リュウホウ」¹²⁾であり、加工用大豆として広く流通している。良質な大豆の安定生産を図る中で、ダイズ紫斑病(病原菌：*Cercospora kikuchii*)に罹病した子実が生産物へ混入すると落等し、品質の低下へつなが

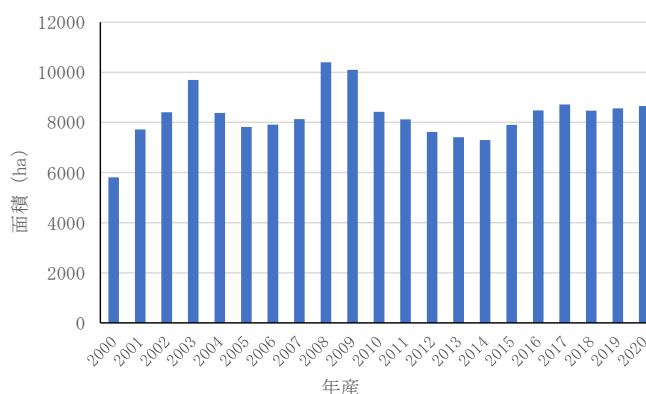


図1 秋田県における過去20年間(2000～2020年)の大豆の栽培面積の推移

る。ダイズ紫斑病（以下、紫斑病）は子実に紫色の斑紋を形成し（図 2）、子実以外に茎や葉でも発生するが、圃場で病徴を確認することは困難である。特に、子実の病斑は脱莢しないと判断することができないため、調整作業の際に色彩選別機等を用いて取り除かなければならない。伝染方法は種子伝染のほか、茎や葉から空気伝染により莢に感染した病原菌が種子に侵入することで発生する。莢への感染時期は、開花 10～35 日後頃で、この期間に降雨が続くと莢への菌糸進展が助長される³⁾。



図 2 ダイズ紫斑病による罹病子実

秋田県における紫斑病の防除対策は、耕種的防除法として健全種子（採種圃産種子）の使用、薬剤による防除法として、大豆の開花期 20～30 日後に 1 回目の薬剤散布、1 回目散布からおおよそ 10 日後に 2 回目の散布を指導している。薬剤防除は、主にブームスプレーヤーや無人航空機で行われており、2020 年の防除面積は 7,884ha⁴⁾で、そのうち無人ヘリによる防除面積は 2,695ha¹⁰⁾であった。

2. 秋田県におけるダイズ紫斑病の薬剤耐性菌の発生状況

本県では、2014 年まで紫斑病の防除薬剤としてベンゾイミダゾール系薬剤（トップジン剤・ベンレート剤）が広く使用されていた。特にトップジン剤は、優れた効果だけでなく地上散布や空中散布に対応できる剤型の種類の豊富さからも使いやすい薬剤であったが、大豆生産現場からは、紫斑病に対する薬効の低下が懸念された。そのため、県内の大豆圃場からサンプリングした罹病子実について、ベンゾイミダゾール系薬剤耐性菌の検定を実施した。遺伝子診断による検定を行った結果、ベンゾイミダゾール系薬剤耐性菌が県内の広域にわたって確認された（図 3）。これらの状況を踏まえて、秋田県では全農や JA、販売流通業者等の関係機関と協議を重ね、2015 年度以降ダイズ生産者に対してベンゾイミダゾール系薬剤（トップジン剤およびベンレート剤）の使用を控えるように指導している。2015 年度以降、生産現場では防除効果や使いやすさ等の点から、QoI（アゾキシストロビン）剤の使用割合が増加してきたが、QoI 剤等については耐性菌の発達リスクが“高”に分類されていることから⁹⁾、連用を避け 1 作につき 1 回の使用に限ると現場では指導している。

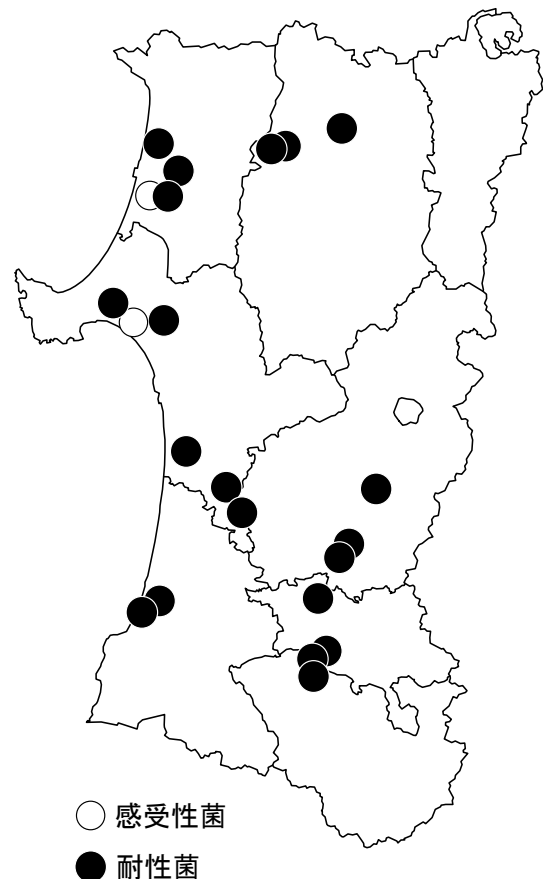


図 3 秋田県におけるベンゾイミダゾール系（チオファネートメチル剤・ベノミル剤）耐性菌の発生状況（2011 年）

※県内の大豆生産圃場より紫斑病罹病子実を採取し、遺伝子診断により耐性菌を判断した。

（秋田県病害虫防除所調べ）

3. 秋田県におけるダイズ紫斑病の発生状況

秋田県病害虫防除所による県内 16 地点の巡回調査では、2014 年以降、紫斑病による被害粒率、被害地点率は増加傾向にある。特に 2018 年以降の被害地点率は高く推移し、2020 年は 75.0% (平年 48.9%)、また、同年の被害粒率は 0.5% (平年 0.3%) であり、平年より高かった (図 4)。2019 年には、県内の一部の地域からアゾキシストロビン剤の紫斑病に対する効力低下を懸念する声が出始めた。また、岩手県等の隣県で QoI (アゾキシストロビン) 剤に対する耐性菌の出現が報告され (佐々木ら 2020)¹³⁾、本県でも感受性の低下が疑われることから、紫斑病に対する QoI (アゾキシストロビン) 剤の使用可否の判断材料とするため、耐性菌の発生状況を調査した。また、チオファネートメチル剤の防除基準削除後 6 年経過した段階でのベンゾイミダゾール系薬剤に対する紫斑病に対する現在の感受性の状況を確認するために、同薬剤も検定を実施した。

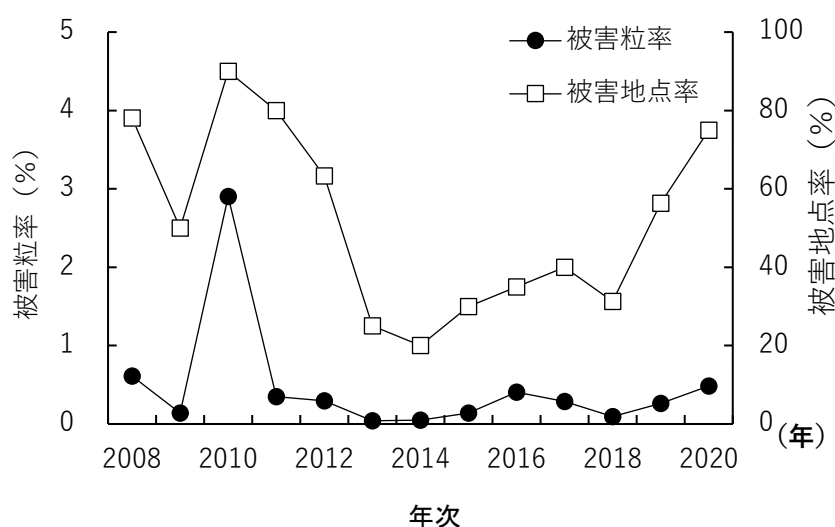


図 4 秋田県内 16 地点の巡回調査 (子実) における紫斑病被害粒率と被害地点率の年次推移

4. ダイズ紫斑病の薬剤検定

2020 年に秋田県内の大豆の栽培圃場 (80 地点) から紫斑粒を採取し、単孢子分離を行った結果、76 地点 (1 地点あたり 1 菌株) から紫斑病菌 76 菌株が得られた⁵⁾⁶⁾。

(1) QoI (アゾキシストロビン) 剤

PDA 平板培地で 25℃の暗室で 7 日間程度前培養し、形成された菌叢の周縁部を直径 4mm のコルクボーラーで菌叢片をとり、菌叢面が培地に接地するように検定培地に移植した。検定用の培地は、オートクレーブ (121℃・10 分) で滅菌した PDA 培地に、1.6, 3.2, 6.4, 12.8, 25, 50, 100, 200ppm に調整したアゾキシストロビン水和剤 (有効成分 20%) と溶媒 (ジメチルスルホキシド, 最終濃度 1%) に溶かした 2, 3-ジヒドロキシベンズアルデヒド (DHBA) 1.0mM を添加したものを検定培地とした。

(2) ベンゾイミダゾール系 (チオファネートメチル) 薬剤

チオファネートメチルでは、検定用の PDA 培地に予め 1.6, 3.2, 6.4, 12.8, 25, 50, 100, 200, 800, 1600ppm になるようにチオファネートメチル水和剤 (有効成分 70%) を添加し、オートクレーブ (121℃・10 分) で滅菌したものを検定培地とした。

(3) 培地検定における耐性菌の判定方法

25℃の暗室で 3 日間培養後、最小生育阻止濃度 (MIC) を調査し、アゾキシストロビン水和剤は MIC が 100ppm⁸⁾、チオファネートメチル水和剤は 1,600ppm⁷⁾ で菌糸生育がみられた菌株を耐性菌と判断した。

(4) QoI 剤の遺伝子検定

培地検定に供試した 76 菌株のうち、71 菌株について遺伝子診断 (PCR) を実施した。プライマー RSCBF1 5'-TATTATGAGAGATGTAAATAATGG-3' にてシーケンス反応し、ABI PRISM 3500xl Genetic Analyzer (Applied Biosystems) で配列解析した。得られた DNA 配列からアミノ酸配列を推定した結果を用いて QoI 剤耐性菌の判定を行った。判定は、チトクローム b 遺伝子の変異により、143 番目のコドン変異が確認された菌株を QoI 剤耐性菌とした。

5. 薬剤耐性菌の検定結果と県内での対応

(1) QoI 剤とベンゾイミダゾール系剤の耐性菌の発生状況

培地検定において、QoI 剤に対する感受性の低下が 76 地点中 39 地点 (菌株率 51.3%) で認められた (図 5, 6)。また、チオファネートメチル剤は 76 地点中 26 地点 (菌株率 34.2%) で耐性菌が確認され、QoI 剤よりも菌株率は低いものの広域にわたって確認された (図 5, 7)。

QoI 剤の遺伝子検定では、71 地点中 36 地点 (菌株率 50.7%) が耐性菌と確認され、培地検定の結果と概ね一致した (表 1)。

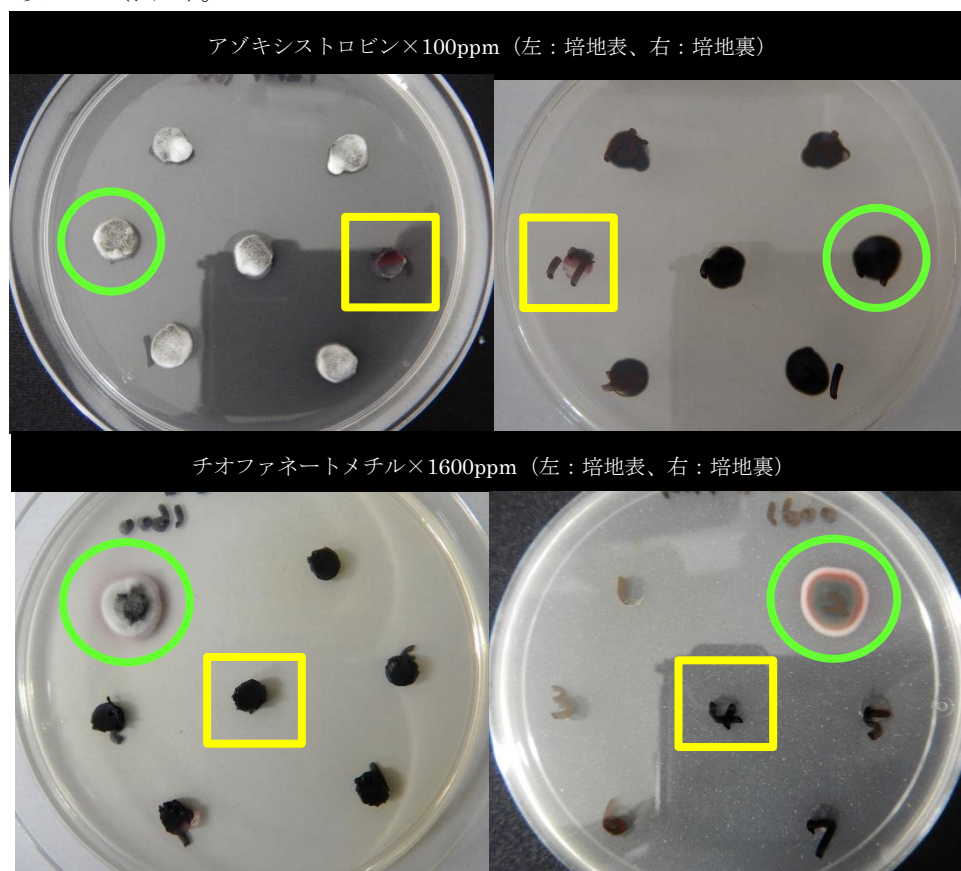


図 5 培地検定の実施状況

□で囲った菌株は感受性菌株

○で囲った菌株は耐性菌株

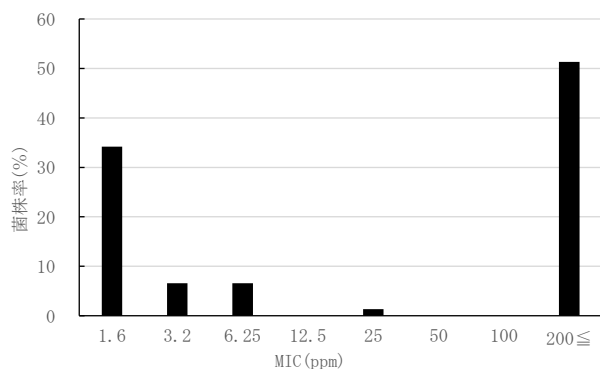


図6 ダイズ紫斑病菌のアゾキシストロビン剤に対する感受性頻度分布 (n=76)

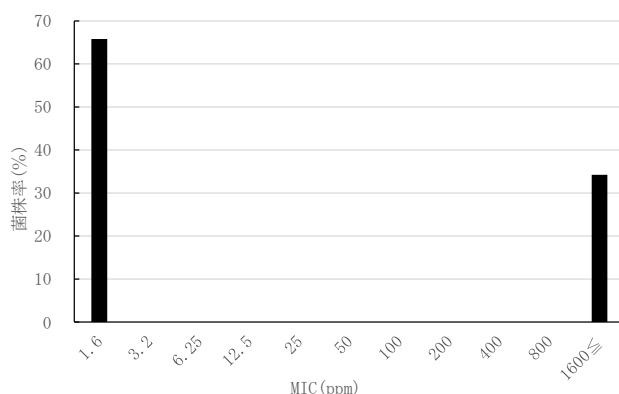


図7 ダイズ紫斑病菌のチオファネートメチル剤に対する感受性頻度分布 (n=76)

表1 秋田県内の産地別の各薬剤における培地検定結果と耐性菌株率

地区	採集 地点数	培地検定 菌株数	PCR 菌株数	アゾキシストロビン剤				チオファネートメチル剤	
				培地検定		PCR法		培地検定	
				耐性菌 株数 ¹⁾	耐性菌 株率(%)	耐性菌 株数 ²⁾	耐性菌 株率(%)	耐性菌 ³⁾ 株数	耐性菌 株率(%)
A	3	3	3	1	33.3	1	33.3	2	66.7
B	17	14	13	10	71.4	9	69.2	2	14.3
C	14	14	13	6	42.9	6	46.2	2	14.3
D	14	13	12	4	30.8	2	16.7	4	30.8
E	3	3	3	3	100	3	100	2	66.7
F	14	14	13	4	28.6	4	30.8	4	28.6
G	1	1	0	0	0	-	-	0	0
H	14	14	14	11	78.6	11	78.6	10	71.4
合計	80	76	71	39	51.3	36	50.7	26	34.2

1) 濃度100ppm以上の培地で、菌糸伸長が確認された菌株をQoI剤耐性菌とした。

2) チトクロームb遺伝子の変異により143番目のコドン変異が確認された菌株をQoI剤耐性菌とした。

3) 濃度1,600ppm以上の培地で、菌糸伸長が確認された菌株をチオファネートメチル剤耐性菌とした。

(2) 秋田県内におけるダイズ紫斑病 QoI 剤耐性菌の発生要因

I. QoI 剤の連年使用

ダイズ紫斑病罹病子実のサンプリングを実施した 80 地点を対象に 2020 年の薬剤の使用履歴を聞き取りしたところ、38 圃場から回答があった。回答のあった圃場のうち、30 圃場（約 70%）でアゾキシストロビン剤が使用されており、半分以上の 18 圃場（60%）で培地検定または遺伝子診断により耐性菌が確認された（表2）。生産現場では防除薬剤をあまり変更しないため、同一薬剤を複数年にわたり使用していたことが耐性菌の発生に関与したと思われる。

表2 秋田県内の圃場から採取した紫斑病罹病子実の防除履歴と各薬剤の感受性

No.	使用薬剤	種子更新	チオファネートメチル			No.	使用薬剤	種子更新	チオファネートメチル			
			培地検定	アゾキストロビン	PCR法				培地検定	アゾキストロビン	PCR法	
1	未回答	未回答	— ¹⁾	—	—	51	アゾキシストロビン剤	未回答	S	R	S	
2	アゾキシストロビン剤		R ²⁾	R	R	52			S	S	S	
3	アゾキシストロビン剤		R	R	R	53			S	S	S	
4	アゾキシストロビン剤		R	R	R	54			S	R	R	
5	アゾキシストロビン剤		採種圃産	R	R	R	55			S	R	R
6			R	R	R	56	未回答		R	S	S	
7			S ³⁾	R	R	57			—	—	—	
8			S	R	R	58			—	—	—	
9			R	S	S	59			—	—	—	
10			S	S	S	60			S	R	—	
11		S	S	S	61	ビリベンカルブ剤	R	S	S			
12		S	S	S	62	未回答	R	S	S			
13		S	R	R	63	アゾキシストロビン剤	採種圃産	S	S	S		
14		S	R	R	64	アゾキシストロビン剤	採種圃産	R	R	R		
15		R	S	S	65	ビリベンカルブ剤	採種圃産	R	R	R		
16	未回答	未回答	S	R	R	66	アゾキシストロビン剤	採種圃産	R	S	S	
17			S	S	S	67	アゾキシストロビン剤	採種圃産	R	S	S	
18			R	S	—	68	アゾキシストロビン剤	採種圃産	S	R	R	
19			S	S	? ⁴⁾	69	アゾキシストロビン剤	採種圃産	S	R	R	
20			S	S	S	70	アゾキシストロビン剤	採種圃産	R	R	R	
21			R	R	—	71	アゾキシストロビン剤	採種圃産 (一部自家採種)	R	R	R	
22			S	R	R	72	ビリベンカルブ剤	採種圃産	R	R	R	
23			S	R	R	73		S	R	R		
24			S	S	—	74		S	R	R		
25			S	S	S	75		R	S	S		
26	S	S	S	76	未回答	未回答	R	S	S			
27	アゾキシストロビン剤	採種圃産	R	R			R	S	R	R		
28	アゾキシストロビン剤	自家採種	R	R			R	S	R	R		
29	アゾキシストロビン剤	自家採種 (一部採種圃産)	R	S			S	S	R	R		
30	アゾキシストロビン剤	採種圃産	S	S	S	80	アゾキシストロビン剤	採種圃産	S	S	S	
31	アゾキシストロビン剤	採種圃産	S	R	R	1) —は未検定を示す						
32	アゾキシストロビン剤	採種圃産	S	S	R	2) Rは薬剤耐性菌を示す						
33	アゾキシストロビン剤	採種圃産	S	S	S	3) Sは感受性菌を示す						
34	アゾキシストロビン剤	採種圃産	R	S	S	4) は不明を示す						
35			R	R	R							
36	未回答	未回答	S	S	S	回答のあった圃場の使用薬剤		圃場数	種子の更新状況			
37			S	R	—				採種圃産	自家採種	未回答	
38			アゾキシストロビン剤	採種圃産	S				S	S	アゾキシストロビン剤	30
39	ジフェノコナゾール剤	未回答	S	S	S	ビリベンカルブ剤	3	2	—	1		
40	イミノクタジナルベシル酸塩剤		S	S	S	ジフェノコナゾール剤	2	1	—	1		
41	銅剤		自家採取	S	S	S	イミノクタジナルベシル酸塩剤	1	—	—	1	
42	銅剤		自家採取	S	S	S	銅剤	2	—	2	—	
43	アゾキシストロビン剤	採種圃産	S	S	S	合計	38	21	10	7		
44	アゾキシストロビン剤	採種圃産	S	R	R							
45	アゾキシストロビン剤	自家採種	S	R	R							
46	ジフェノコナゾール剤	採種圃産	S	S	S							
47	アゾキシストロビン剤	自家採種	S	S	S							
48	アゾキシストロビン剤	自家採種	S	R	R							
49	アゾキシストロビン剤	自家採種	S	R	R							
50	アゾキシストロビン剤	自家採種	S	R	R							

II. 自家採種種子の使用

種子の更新状況は 10 圃場で自家採種との回答があった。耐性菌が発生している圃場と種子更新状況について見てみると、自家採種と回答したうちの 6 圃場で QoI 剤耐性菌が確認された。使用薬剤はアゾキストロビン剤を使用していた。そのため、自家採種を続けたことにより耐性菌が発達したことが考えられる。秋田県内における種子更新率は、平成 28 年で 51% とおよそ半分の更新状況となっている¹⁾。また、採種圃産種子を使用していると回答した圃場でも、大部分は採種圃産の種子を使用しているが、収穫した子実を翌年の種子の一部として使用しているケースもあったため、自家採種と使用薬剤の組み合わせ及び種子更新率の低さが耐性菌発生に関与したと考えられた。

(3) ベンゾイミダゾール系薬剤耐性菌の現状

チオファネートメチル剤およびベノミル剤の使用中止から年数が経っても感受性は回復しておらず、ベンゾイミダゾール系薬剤を紫斑病対策剤として使用できない状態が続いていた。自家採種をしている圃場の中には、アゾキシストロビン剤とチオファネートメチル剤に対して耐性を示す菌株が見つかった。

(4) 県内での対応

耐性菌検定結果をもとに、県、全農、メーカー等の関係機関で協議の結果、秋田県病害虫防除所から防除対策情報 3 号（令和 3 年 4 月 27 日発行）が発表された。発表時期は既に当用期が開始している時期であったが、令和 3 年度のダイズ栽培では、①アゾキシストロビン剤の効力低下が疑われる地域では使用を避けること。②それ以外の地域では QoI 剤の使用は 1 作につき 1 回に限るとした。また、令和 4 年度からは秋田県農作物病害虫・雑草防除基準に記載していたダイズ紫斑病対策の QoI 剤（アミスター20 フロアブル）は、削除することとなった。

6. 今後の課題

本試験では、紫斑病薬剤耐性菌株を用いた薬剤の効果試験を実施していないため、耐性菌株を接種した場合、どの程度の防除効果が得られるかは不明である。過去に県内で発生が確認されたイネいもち病菌の QoI 剤耐性菌では、当該圃場のみならず周辺圃場への飛散等により伝染した経緯もあるため¹⁵⁾、今後は県内全域で確認された QoI 剤及びチオファネートメチル剤耐性紫斑病菌の動向についてさらにモニタリングしていく必要があると考えている。

紫斑病の耐性菌が確認されたアゾキシストロビン（QoI）剤は、単一成分で幅広い殺菌スペクトラムを有しており、薬効においても高い防除効果を示しており、さらに地上防除だけでなく、空中散布の登録も取得していたことから普及が拡大した要因の一つであると考えられる。生産現場ではこのような利便性に優れる薬剤は生産者の評価も高いため、薬剤が連用されるようになったことが考えられている。

ベンゾイミダゾール系薬剤耐性菌は過去に様々な作物の病害で耐性菌が報告されており、本県でも 2000 年にリンゴの褐斑病でベンゾイミダゾール系薬剤耐性菌が確認されている¹⁴⁾。ベンゾイミダゾール系薬剤をはじめ、QoI 剤や DMI 剤などは作用機構が明らかとなっており、ベンゾイミダゾール系薬剤及び QoI 剤の耐性菌発生リスクは“高”、DMI 剤は“中”程度の耐性リスクと分類されている⁹⁾¹⁶⁾¹⁷⁾。どの薬剤も薬効面や作物登録の多さ等の使いやすさから、多くの作物生産現場で広く使用されてきた。ベンゾイミダゾール系薬剤では 2014 年に使用制限以降、同系統の薬剤の使用割合はかなり低くなっていると思われるが、今回の検定結果からも一度耐性を獲得すると、感受性が回復するまでには相当な年月を要することが考えられた。今後の本県における紫斑病に対する防除薬剤は、アゾキシストロビン剤同様に効果の高い薬剤を防除基準へ採用していく予定だが、耐性菌の発達リスクをどれも抱えている。優れた薬剤を長く使用していくために、適切な耐性菌リスク管理がさらに重要であると考えられる。耐性菌発生リスクが高いアゾキシストロビン水和剤等は 1 作につき 1 回にとどめるよう指導しているが、有効な薬剤の選択肢が少ないことが現状である³⁾。県内では QoI 剤、ベンゾイミダゾール系薬剤耐性菌の発生を確認していることから、今後の薬剤耐性菌の発生リスクを含めた薬剤防除対策を検討している。

また、ダイズ紫斑病は種子伝染性病害であるため、健全な種子を生産者に供給することは紫斑病の被害を防ぐだけでなく、耐性菌リスク管理にとっても重要である。今回の聞き取り調査では、一部の圃場

では自家採種しており、自家採種した圃場からも耐性菌が確認されている。前述では、栽培面積に対して半分しか種子更新が行われていない状況にある。これらの状況が県内で広域に耐性菌を発生させた一因と考えられる。種子更新率の向上と、安定した健全種子の供給が今後はさらに必要と思われる。

7. 謝辞

ダイズ紫斑病罹病子実のサンプリングにあたり、県内 JA、各地域振興局、秋田県病害虫防除所、農薬メーカーには全面的にご協力頂いた。また、PCR 法による遺伝子診断は、秋田県立大学バイオテクノロジーセンターに多大なるご協力を頂いた。この場を借りて皆様に厚く御礼申し上げる。

引用文献

- 1) 秋田県農林水産部（平成 30 年 3 月）大豆指導指針：p5
- 2) 秋田県農林水産部（令和 3 年 3 月）大豆指導指針：p2～5
- 3) 秋田県農林水産部（2021）令和 3 年度版秋田県農作物病害虫・雑草防除基準：p53
- 4) 秋田県病害虫防除所（2020）令和 2 年度秋田県植物防疫年報，秋田県：p55
- 5) 藤田佳克（1990）ダイズ紫斑病の生態と防除に関する研究.東北農試研報 81：51-109
- 6) 藤田佳克（1995）一分離・培養・接種ーダイズ紫斑病（大畑貫一ほか編）作物病原菌研究技法の基礎：95-97
- 7) 福西 務ら（1991）ダイズ紫斑病菌のチオファネートメチル剤に対する薬剤耐性．関西病虫研報 33：55-56
- 8) 石井英夫（2009）キュウリ褐斑病菌. 植物病原菌の感受性検定マニュアルⅡ：69-71
- 9) JCPA（2021）FRAC 作用機構分類一覧表©*2021：交差耐性パターンと作用機構で分類された殺菌剤. <https://www.jpca.or.jp/labo/pdf/2021/mechanism>（2021 年 12 月参照）
- 10) 農林水産省（令和 3 年 7 月 1 日）令和 2 年度 無人ヘリコプターによる農薬等の空中散布実施状況（都道府県別）. https://www.maff.go.jp/j/syouan/syokubo/gaicyu/g_kouku_zigyo/（2021 年 12 月参照）
- 11) 農林水産省（2021 年 2 月 26 日）作物別作付（栽培）面積：
<https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumotu/menseki/>（2021 年 12 月参照）
- 12) 農林水産省（平成 31 年 3 月）国産大豆の品種特性ー加工適性と栽培特性ー：
<https://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/daizu/>（2021 年 12 月参照）
- 13) 佐々木陽菜ら（2020）ダイズ紫斑病防除における QoI 剤の使用法に関する考察. 北日本病虫研報 71：195
- 14) 佐藤 裕（2000）リンゴ褐斑病菌のベンズイミダゾール系薬剤耐性菌の出現. 日本植病会報 65：668
- 15) 佐山 玲ら（2016）秋田県における QoI 剤耐性イネいもち病菌の発生要因について. 北日本病虫研報 67：36-40
- 16) 田辺憲太郎（2013）殺菌剤の耐性菌発生リスク評価. 農薬時代 195：18-24
- 17) 田辺憲太郎（2015）殺菌剤の耐性菌発生リスク評価. 農薬時代 196：11-15

イネばか苗病菌のペフラゾエートに対する感受性低下とその後の対応策

Occurrence and management of *Fusarium fujikuroi* isolates decreased sensitivity to pefurazoate in Hyogo prefecture

兵庫県立農林水産技術総合センター

松本純一

Junichi Matsumoto, Hyogo Prefectural Technology Center Agriculture, Forestry and Fisheries,
1533 Befu, Kasai, Hyogo 679-0198 Japan

Abstract

Rice ‘Bakanae’ disease, caused by *Fusarium fujikuroi*, is one of the important diseases for rice production. Sterol Demethylation Inhibitor (DMIs), such as pefurazoate, have been effective on chemical control of Bakanae disease. In Hyogo prefecture, pefurazoate have been widely used as conventional rice seed disinfectant. However, in recent years, the appearance of resistant strains against fungicides, i.e., prochloraz has been reported.

This paper describes that *F. fujikuroi* isolates decreased sensitivity to pefurazoate were detected in Hyogo prefecture and disease management were carried. The control efficacy of pefurazoate decreased, although the mixture of pefurazoate, fludioxonil and copper oxychloride (C+ Fl +Pf) and ipconazole-copper hydrate (Ip+C) maintained high control efficacy to Bakanae disease. Seed disinfectants were use alternately, Pf+Fl+C use on production of foundation seed and Ip+C use on production of stock seed and cultivation.

1. はじめに

イネばか苗病は、*Fusarium fujikuroi*を病原とする種子伝染性病害であり、開花期に感染した種子が保菌して翌年の伝染源となる。一般生産者が水稻を栽培するに当たって、育苗期に多発した場合は種子生産者に対するクレームの対象となることから、種子生産上最も重要な病害である(藤, 2018)。本病は1980年代末から90年代初め頃まで多発していたが、効果の高い種子消毒剤(DMI剤)の使用で2000年代後半までほとんど発生が見られなくなっていた。しかし、生物農薬や温湯消毒の普及に伴い、発生が増える傾向にあり(藤, 2013)、国内外で卓効のあった化学農薬に耐性、薬剤感受性低下が発生している事例がある(工藤ら, 2014; 萬田ら, 2019; 森谷ら, 2020)。さらに、外食・中食用として多様な品種が作付けされるなど、種子の流通が広域化、活発化している現在、兵庫県内でも本病の発生が顕在化してきて、かつてのような多発生が懸念、警戒されている。そこでイネばか苗病菌を分離して、県内で長年使用されているペフラゾエート(Pf)剤、および他県で使用実績のあるイブコナゾール剤(Ip)について薬剤感受性を調査した。その結果を紹介するとともに防除対策についても言及する。

2. 各種消毒剤に対する薬剤感受性検定—培地検定と育苗検定—

(1) 薬剤添加培地による分離菌株の薬剤感受性検定

兵庫県内各地域(2018年：8地域、2019年：6地域、2020年：12地域)から、ばか苗症状個体を採集し常法に準じて分離した。分離株の同定は形態観察とPCR-RFLP (Suga et al., 2014) あるいはリアルタイムPCR (Amatulli et al., 2012) で行い、2018年は149菌株、

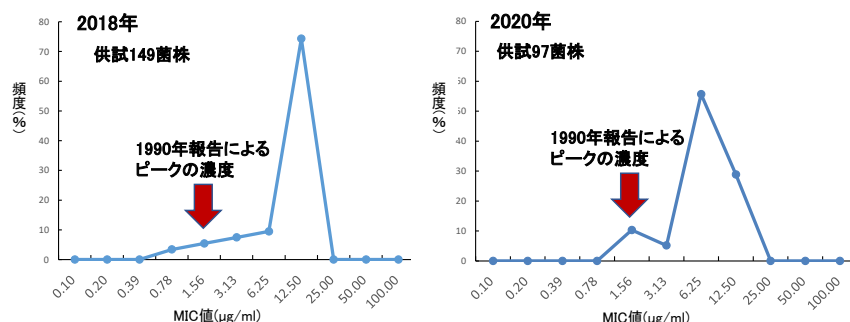


図1 兵庫県で分離したイネばか苗病菌分離株のペフラゾエートに対する感受性分布

2019年は188菌株、2020年は97菌株のばか苗病分離菌(*F. fujikuroi*)株を得た。Pfの薬剤感受性検定はWada et al. (1990) に準じて最小生育阻止濃度 (minimum inhibitory concentration, MIC) 法で行った。その結果、2018年、2019年のMIC値はいずれも0.78~12.5μg/mlの範囲であり、12.5μg/mlを頂点とする一峰性の感受性分布であった。2020年のMIC値は、1.56~12.5μg/mlとなり、1.56μg/mlと6.25μg/mlにピークをもつ2峰性の感受性分布であった。0.78~12.5μg/mlの範囲であり、1.56μg/mlを頂点とする一峰性の感受性分布であるWada et al. (1990) の報告と比較すると、MIC値の範囲はほぼ一致しているものの、ピークの値は4~8倍高濃度側に移行した(図1)。なお、MIC値25μg/ml以上の分離株は確認されなかった。次に、ばか苗病分離菌株に対するIpのMIC値を検討したところ、0.39~1.57μg/ml(18年の下限は0.20μg/ml)の範囲であり、1.57μg/mlを頂点とする感受性分布であった。これは0.20~0.78μg/mlの範囲であり、0.39μg/mlを頂点とする一峰性の感受性分布であることを報告したTateishi and Suga(2015)と比較すると、ピークは4倍高濃度に移行していた(図2)。なお、MIC値3.13μg/ml以上の分離株は確認されなかった。

(2) 育苗法による薬剤感受性検定

実用濃度によるPf乳剤、銅(C)・フルジオキシニル(Fl)・Pf(以下、C+Fl+Pf)水和剤及びイプロコゾール(Ip)・銅(C)(以下、Ip+C)水和剤のばか苗病に対する防除効果を検討した。まず、2018年分離株1菌株(MIC値12.5μg/ml)の開花期接種種子に対しては、各剤の防除効果は高かった(データ省略)。

次に、2019年は9菌株、2020年は3菌株を、イネ品種「短銀坊主」に減圧接種して、これらを健全種子に30%混和し、各剤の防除効果を検討した。2019年分離菌株に対するPf乳剤の防除効果は、無処理の発病苗率が10.5~58.1%であるのに対して、Pf乳剤区で0.4~33.4%となり、防除価29.6~98.2と防除効果の低下が認められた(表1, 図3, 4)。また、2020年分離菌株においても、同様に防除効果の低下が確認され(表1, 図3)、兵庫県内で、Pf乳剤に対するばか苗病菌の感受性低下が確認された。

一方、C+Fl+Pf水和剤の2019年分離9菌株、2020年分離3菌株に対する防除効果は、それぞれ防除価99.4~100、99.5~100、Ip+C水和剤はそれぞれ96.0~100、97.2~100と、両剤ともに高かった(表1)。中島ら(2020)は、培養菌液の減圧接種粉を用いて、プロクロラズのイネばか苗病菌に対するMIC値とプロクロラズ乳剤の防除効果の関係を検討し、MIC値0.78μg/mlと1.56μg/mlでは十分な防除効果が認められたが、12.5μg/ml、25μg/mlでは防除効果は認められなかったとした。Pf乳剤を用い

表1 兵庫県で採集したばか苗病菌分離株に対する各種薬剤の防除効果

分離株 ¹⁾	採取年度	採取地域	培地試験におけるMIC値 (mg/L)		短銀坊主を用いたばか苗病防除試験(防除価 ²⁾)		
			ペフラゾエート	イブコナゾール	Pf乳剤 ³⁾	C+FI+Pf水和剤 ³⁾	Ip+C水和剤 ³⁾
1	2019	加西	12.5	1.57	38.6	100.0	99.6
2	2019	加西	12.5	1.57	29.6	100.0	98.5
3	2019	加西	12.5	1.57	61.2	100.0	100.0
4	2019	加西	12.5	1.57	74.4	99.4	99.0
5	2019	加東	0.78	0.39	97.6	100.0	100.0
6	2019	加東	12.5	1.57	62.8	100.0	100.0
7	2019	豊岡	1.57	0.78	98.2	100.0	100.0
8	2019	朝来	1.57	0.39	92.7	100.0	96.0
9	2019	朝来	1.57	1.57	95.2	100.0	100.0
10	2020	加東	12.5	0.78	98.3	100.0	100.0
11	2020	加東	12.5	1.57	10.7	100.0	97.2
12	2020	加東	12.5	1.57	68.9	99.5	100.0

1) 分離株番号は図3の番号に対応。

2) 無処理区を含む各処理区の徒長苗率(出芽した苗のうち徒長した苗の割合)を算出して、
防除価は以下の式で計算した。

(無処理区の徒長苗率－処理区の徒長苗率)÷無処理区の徒長苗率×100

3) Pf乳剤: ペフラゾエート乳剤、C+FI+Pf水和剤: 銅・フルジオキシニル・ペフラゾエート水和剤、
Ip+C水和剤: イブコナゾール・銅水和剤。

4) 種子消毒はいずれの薬剤も200倍希釈液に浸種前24時間種子浸漬処理した。

5) 供試品種は「短銀坊主」で、健全種粍: イネばか苗病菌分離株減圧接種粍=7:3に混合して供試した。

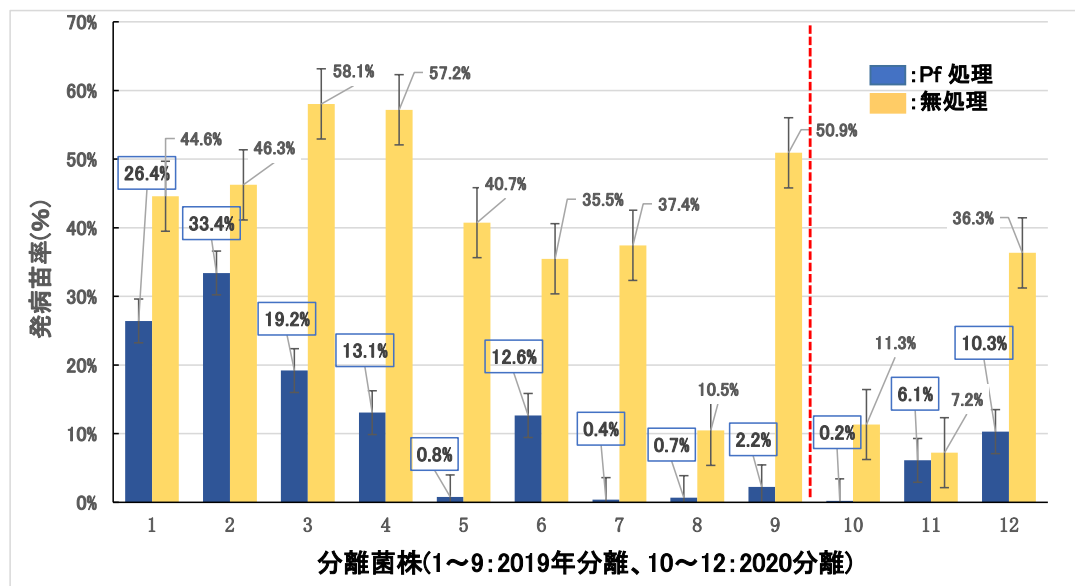


図3 イネばか苗病菌2019, 20年分離菌株に対するペフラゾエート乳剤による発病抑制効果
数値は発病苗率。枠線付はPf 処理区の値

て行った本研究では同様の関係が見られ、MIC 値 12.5 μ g/ml の 8 菌株のうち 7 菌株で防除効果が低下した。両剤はともに、DMI 剤であり、耐性菌リスク中程度とされている(FRAC, 2021)。

しかし、Pf 乳剤は 1992 年頃より 30 年近く兵庫県内で広く種子消毒剤として使用されてきた。このような広域での連用が、感受性低下菌出現の要因と考えられる。

一方、Ip+C 水和剤は、MIC 値 1.57 μ g/ml 以下、防除価 96.0~100 で防除効果が高く維持されている。これは、兵庫県内での使用実績は少ないことが要因と考えられる。

また、C+Fl+Pf 水和剤は、Pf の MIC 値が 12.5 μ g/ml である各菌株に対する防除効果が高かった(表 1)。松尾ら(2000)は C+Fl+Pf 水和剤は、Pf の直線的濃度勾配を示す菌叢生育阻止能力、Fl の抗菌性、両剤のジベレリン産生能に対する協力的作用により、高い種子消毒効果を発揮していると推察している。C+Fl+Pf 水和剤はこの作用によって、Pf に対する感受性が低下した菌株に対する防除効果を維持していると考えられた。

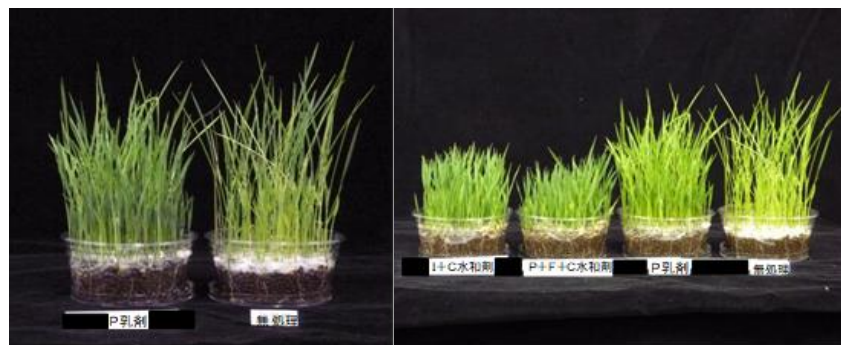


図4 各種供試薬剤のばか苗病防除効果(分離株2)
P:ペフラゾエート、C+F+P:銅・フルジオキシニル・ペフラゾエート
I+C:イプロナゾール・銅

3. 種子消毒剤の変更と防除手法の探索

(1) 種子消毒剤の変更

ペフラゾエート(Pf)に対するばか苗病菌の薬剤感受性低下が確認されたことから、兵庫県病害虫防除所は「令和 2 年度病害虫発生予察技術情報第 1 号」を発表して注意喚起を行うとともに、次年度以降の種子消毒剤は C+Fl+Pf 水和剤、Ip+C 水和剤、及び温湯消毒と生物農薬の併用を推奨した。

兵庫県内での使用種子は、薬剤吹付種子と吹付けされていない種子(無消毒種子)がある。この注意喚起をうけて、2021 年産種子に吹き付ける薬剤を Pf 乳剤から Ip+C 水和剤に切り替えることとなった。

この報告は、工藤らが 2014 年に東北地域で Pf 剤に対するばか苗病菌の感受性低下への報告に続くものである。さらに、プロクロラズ剤の耐性菌出現(萬田ら, 2019; 森谷ら, 2020)が報告されたことで、兵庫県でばか苗病防除のために推奨する剤は C+Fl+Pf 水和剤と Ip+C 水和剤のみとなった。兵庫県では、この 2 剤の感受性低下を避けるため、原原種生産から一般栽培の各段階で C+Fl+Pf 水和剤と Ip+C 水和剤を交互に用いている(図 5)。

(2) 原原種、原種生産における対策

兵庫県は、「原原種および原種・一般種子の生産と安定供給に都道府県が責任を持つ」ことを定めた主要農作物種子法の廃止に伴い、主要農作物種子生産条例を 2018 年 3 月に制定・施行して、法律廃止前と同様に対応している。

県立農林水産技術総合センターでは、前項のとおり水稻種子供給体制の上流、原原種生産と原種生産で、種子消毒での薬剤の交互使用を行うとともに、消毒の徹底をはかるべく、事前乾燥を取り入れた温湯種子消毒(金勝ら, 2013; 伊賀ら, 2020)を併用している。すなわち、種子水分を 10%程度まで

乾燥させ、従来法より高温の 65℃10 分間の温湯消毒を行なった後、薬剤浸漬による消毒を行うという手順をとる。この事前乾燥+65℃10 分間温湯処理+薬剤処理については、開花期接種種子、減圧接種種子を供試した育苗検定において、C+Fl+Pf 水和剤及び Ip+C 水和剤と同程度の高い発病抑制効果を確認している(松本ら、未発表)。

(3) その他の対策

一般栽培圃場では、吹付消毒済み種子が用いられることが多いため、種子消毒についての注意事項の点検シートを活用している(図 6)。これは育苗期におけるばか苗病の発生は種子予措中の感染が中心であること、本田でばか苗病を発病させた農家では、種子予措を行う作業場に存在する籾殻

や乾燥調整後の籾すりで発生する米ぬかや粉塵等にばか苗病菌が存在すること(藤, 2018)から、種子予措作業での汚染を避けるために、作業場の清掃、水槽への蓋の設置、浸種時の浴比、浸種・催芽時の水温等に対する注意喚起を目的としている。特に、一般生産者だけでなく、JA の収穫調整施設も種子予措作業場と近い場合も多く、調整後に施設内に一時保管されていた籾殻からの検出も行っている。

(4) 育苗及び本田でのばか苗病防除法の探索

種子消毒以外の防除手法として、育苗時に苗立枯病を引き起こす *Fusarium* 属菌、*Rhizopus* 属菌及び *Pythium* 属菌の防除剤のばか苗病防除効果の検討を行った。

減圧接種種子及び自然感染種子を供試し、ヒドロキシイソキサゾール液剤、ベノミル・TPN 水和剤及びベノミル水和剤の 3 剤の播種時かん注処理を行ったところ、実用性のある防除効果は見られなかった。また、同様にヒドロキシイソキサゾール粉剤の土壌混和と同剤の液剤との併用を検討したところ、実用性のある防除効果は見られなかった(松本、未発表)。

本田におけるばか苗病菌の保菌低減の試みとして、いもち病防除剤であるフェリムゾン・フサライド水和剤による保菌の低減の可能性が示されている(鈴木ら, 2013)。このことから、本田防除剤であるシメコナゾール粒剤及びテブフロキン水和剤のばか苗病防除効果を検討した。試験は、試験区から均一な距離になるように発病苗を移植し、出穂開花前後に各剤を処理したところ、発病苗から 0.6~3.0m の位置でサンプリングした種子の発病苗率は、無処理区で 3.5~3.7%であったのに対して、シメコナゾール処理区は 2.6~3.6%、テブフロキン処理区は 3.7~4.4%とばらつきが見られ、防除効果は見られなかった。一方、発病苗から 7.2m 離れた部分でサンプリングすると、シメコナゾールで発病苗率 1.4%、防除価 52、テブフロキン 2.0%、33 となったものの(無処理区で 3.0%)、実用に供するには不十分であった(松本、未発表)。

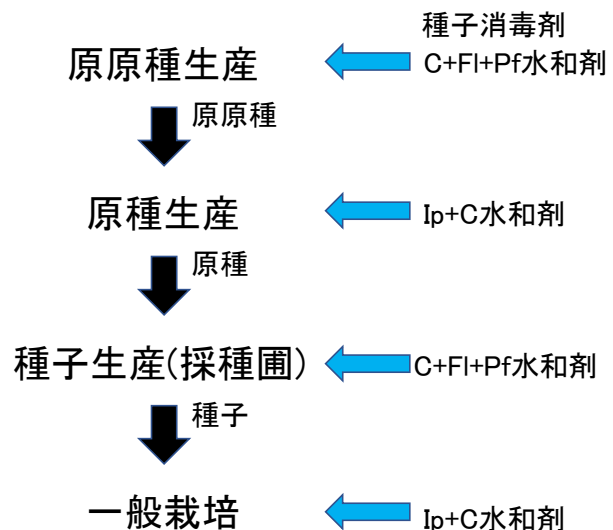


図5 一般生産者への種子供給の流れと種子消毒剤の変更

化学農薬の吹き付け処理種子による水稻種子消毒 点検項目シート

No.	項 目	チェック
1	作業場及びその周辺の糞やわらなどの伝染源を除去し、床などの清掃をしていますか。	
2	浸種槽はロットごとに清掃・洗浄してから使用していますか。	
3	浸種袋につめる種子量は適正(種子袋の70%程度まで)ですか。	
4	薬剤吹付種子を浸種消毒する際は、種子に付着した薬剤が流れ落ちないよう、先に水を溜めてからゆっくりと水につけていますか。	
5	薬剤吹付種子の浸種時の水の量は適正ですか。(種子1kgに対して約4ℓ)	
6	薬剤吹付種子の浸種時の薬液は10℃～20℃の範囲であることを確認していますか。	
7	薬剤吹付種子の浸種から水換えまでの期間は適切ですか。(薬液の水温が低い時期は3日間、それ以後では2日間)	
8	粉塵や直射日光の侵入防止のため、浸種槽にフタをしていますか。	
9	水換えの際は、薬液から種子をゆっくりと引き上げ、種子容量の2倍の水に静かに漬けていますか。また、水交換の際に種子の水洗いをしていますか。	
10	水換え後の浸種時の水温は10℃～20℃の範囲であることを確認していますか。	
11	薬液、水の使い回しは行っていませんか。	
12	適正温度(30℃)で催芽処理していますか。	
13	育苗箱は清掃・洗浄してから使用していますか。	
14	播種機は清掃・洗浄してから使用していますか。	
15	適正温度(30℃)で出芽処理していますか。	
16	育苗中にばか苗病の発生がないか確認していますか。	

【チェック欄】○：できている △：一部できている ×：できていない ー：該当なし

化学農薬への浸漬による水稻種子消毒 点検項目シート

No.	項 目	チェック
1	作業場及びその周辺の糞やわらなどの伝染源を除去し、床などの清掃をしていますか。	
2	浸種槽はロットごとに清掃・洗浄してから使用していますか。	
3	浸種袋につめる種子量は適正(種子袋の70%程度まで)ですか。	
4	種子消毒薬液の量は適正ですか。(種子1kgに対して約2ℓ以上)	
5	薬液浸漬の際は浸種袋をよく揺すっていますか。	
6	種子消毒時の液温は10℃～20℃の範囲であることを確認していますか。	
7	種子消毒の時間は適切(24時間)ですか。	
8	粉塵や直射日光の侵入防止のため、浸種槽にフタをしていますか。	
9	水換えの際は、薬液から種子をゆっくりと引き上げ、種子容量の2倍の水に静かに漬けていますか。また、水交換の際に種子の水洗いをしていますか。	
10	水換え後の浸種時の水温は10℃～20℃の範囲であることを確認していますか。	
11	薬液、水の使い回しは行っていませんか。	
12	適正温度(30℃)で催芽処理していますか。	
13	育苗箱は清掃・洗浄してから使用していますか。	
14	播種機は清掃・洗浄してから使用していますか。	
15	適正温度(30℃)で出芽処理していますか。	
16	育苗中にばか苗病の発生がないか確認していますか。	

【チェック欄】○：できている △：一部できている ×：できていない ー：該当なし

図6 種子消毒時の点検項目のチェックシート

温湯消毒版も作成、配布

4. おわりに

ベノミル剤耐性菌発生後の多発を DMI 剤の使用で乗り切ってきた経緯から、効果の高い新規種子消毒剤の開発が望まれる。高い防除効果が保たれている C+ Fl +Pf 水和剤と Ip+C 水和剤であるが、原原種栽培から一般栽培の各段階での連用を避けるためには新規薬剤を組み込んで感受性低下の回避を図りたい。

一方、DMI 剤の開発・使用が始まった 90 年代初め頃と比較して、現在では、自然環境への配慮が重視されている。農林水産省は 2021 年 5 月に「みどりの食料システム戦略」を発表し、2050 年までに、「低リスク農薬への転換、総合的な病害虫管理体系の確立・普及」等により、「化学農薬の使用量(リスク換算)を 50%削減」を目指す姿としている。種子消毒剤は水稻における種子伝染性病害の第一次伝染源の除去の観点から、農薬使用量削減に大きく貢献できると考えられる。

兵庫県では、1992 年から、土づくり技術、化学肥料低減技術、化学農薬低減技術を同時に導入する農業生産方式として、「環境創造型農業(人と環境にやさしい農業)」を県農業の基本として、環境に配慮した生産方式を拡大するとともに、それらの取組に対する消費者への理解促進を図ってきた。この施策推進により、県内でも温湯種子消毒が普及してきている。東北地域における温湯消毒の普及以後の発生傾向(藤, 2013)を考えると、温湯消毒への過度な依存による種子消毒の無農薬化は困難と考えら

れるが、県施策として「環境創造型農業」の推進を図る上で、温湯消毒よりも効果的かつ化学合成農薬に依存しないタイプの種子消毒法の開発が期待される。

ばか苗病は、水稻生産にとって最も重要な病害であり、その防除のために種子生産では化学合成農薬を用いた防除徹底を、一般栽培では施策や消費者ニーズに対応した化学合成農薬以外の防除法が求められている。今後は、本病を効果的に抑制するため、特に種子予措段階での感染生態の解明や新たな防除技術の開発に取り組む必要がある。

ここで紹介した試験を実施するにあたり、株式会社エス・ディー・エスバイオテック・村木智子氏ならびに北興化学工業株式会社・近藤 智氏にはペフラゾート原体を分譲いただいた。株式会社クレハ・三宅泰司博士ならびにクミアイ化学工業株式会社・貴田健一氏にはイプコナゾール原体を分譲いただいた。株式会社クレハ・堅石秀明博士には培地検定に関して貴重なご教示をいただいた。兵庫県内の農業改良普及センター、農業協同組合、生産者の皆様にはばか苗症状株の採集にご協力をいただいた。皆様にはこの場を借りて厚くお礼申し上げます。

引用文献

- Amatulli, M. T., D. Spadaro, M. L. Gullino and A. Garibaldi (2012) Conventional and real-time PCR for the identification of *Fusarium fujikuroi* and *Fusarium proliferatum* from diseased rice tissues and seeds. *European Journal of Plant Pathology* 134: 401-408.
- FRAC(2021) 殺菌剤の作用機構分類一覧表 (2021.04.01)
URL : https://www.jcpa.or.jp/labojfrac/pdf/code_pdf01_2021/pdf (2021 年 10 月アクセス)
- 藤 晋一・茂木貴恵 (2007) グロースキャビネットを利用した苗いもち、およびばか苗病の検定. *植物防疫* 61: 475-480.
- 藤 晋一 (2013) 化学農薬を用いない水稻種子消毒法の普及による諸問題とその対策. *植物防疫* 67:223-227.
- 藤 晋一 (2018) イネばか苗病の発生生態と防除. *植物防疫* 72:254-258.
- 早野由里子・林 敬子・芦澤武人・鈴木文彦 (2015) PCR 反応のためのイネいもち病菌 DNA の簡易調整法. *日植病報* 81: 141-143.
- 伊賀優実・戸田 武・古屋廣光・金勝一樹・藤 晋一 (2020) 事前乾燥を取り入れた水稻温湯種子消毒のイネ種子伝染性病害に対する効果. *日植病報* 86: 1-8.
- 入江和巳・井上幸次 (1998) (3) イネばか苗病. *植物病原菌の薬剤感受性検定マニュアル*: 16-20.
- 金勝一樹・三田村芳樹・岡崎直人・佐野直人・山田哲也・村田和優 (2013) 水稻種子の水分含量を低下させることによる温湯消毒時の高温耐性の向上. *日作紀*: 397-401.
- 工藤 学・Koh, Y.J.・戸田 武・古屋廣光・藤 晋一 (2014) イネばか苗病菌の薬剤感受性とその病原性. *日植病報* 80: 64-65.
- 松尾広信・小林智博・平松基弘・和田拓雄 (2000) ペフラゾエート・フルジオキシニル・塩基性塩化銅水和剤 (モミガード®C 水和剤) のイネばか苗病種子消毒効果. *日植病報* 66: 181-182.
- 萬田 等・中島宏和・山田和義・山下 亨 (2019) 北陸病虫研会報 68: 53.
- 森谷真紀子・菅原隆介・本田浩央・菅 太一 (2020) プロクロラズ剤に対する感受性が低下したイネばか苗病菌の山形県内での発生状況. *北日本病虫研会報* 71: 192.

- 内藤秀樹・斉藤健介・古屋廣光・藤 晋一 (2008) イネばか苗病による徒長苗の形態とばか苗病菌の分布およびプール育苗による発病抑制. 日植病報 74 : 321-327.
- 内藤秀樹・斉藤健介・古屋廣光・藤 晋一 (2008) イネばか苗病による徒長苗の形態とばか苗病菌の分布およびプール育苗による発病抑制. 日植病報 74 : 321-327.
- 中島宏和・内田英史・萬田 等・山下 亨 (2020) イネばか苗病菌のプロクロラズ剤に対する MIC 値と種子消毒効果の関係. 日植病報 86: 198-199.
- 小川勝美・諏訪正義 (1981) 1980 年岩手県に分布するイネ馬鹿苗病菌のベノミル感受性について. 北日本病虫研報 32: 160.
- Suga, H., M. Kitajima, R. Nagumo, T. Tsukiboshi, R. Uegaki, T. Nakajima, M. Kushiro, H. Nakagawa, M. Shimizu, K. Kageyama and M. Hyakumachi (2014) A single nucleotide polymorphism in the translation elongation factor 1alpha gene correlates with the ability to produce fumonisin in Japanese *Fusarium fujikuroi*. Fungal Biology 118: 402-412.
- 鈴木智貴・笹原教子・笹原剛志 (2013) イネばか苗病の保菌率低減を目的とした本田期防除薬剤の探索と薬剤散布手法の検討. 宮城古川農試報 11: 77-84.
- Tateishi, H., T. Saishoji, T. Suzuki and T. Chida (1998) Antifungal properties of the seed disinfectant ipconazole and its protection against “Bakanae” and other diseases of rice. Ann. Phytopathol. Soc. Jpn. 64: 443-450.
- Tateishi1, H. and H. Suga (2015) Species composition, gibberellin production and sensitivity to ipconazole of the *Fusarium fujikuroi* species complex isolates obtained before and after its launch. J. Pestic. Sci. 40: 124-129.
- Wada, T., S. Kuzuma and M. Takenaka (1990) Sensitivity of *Fusarium moniliforme* Isolates to Pefurazoate. Ann. Phytopath. Soc. Japan 56: 449-456.

殺菌剤耐性菌研究会幹事・運営委員名簿

2022. 3. 30 現在

[幹事長]

鈴木 啓史 三重県農林水産部

[幹事] (50 音順)

石濱 典子	全国農業協同組合連合会
内田 聡	バイエルクロップサイエンス(株)
内橋 嘉一	兵庫県立農林水産技術総合センター
岡本 吉弘	三井化学アグロ(株)
金子 洋平	千葉県農林総合研究センター
川口 章	農研機構 西日本農業研究センター
黒木 信孝	日本農薬(株)
中島 嘉秀	シンジェンタジャパン(株)
平山 和幸	(地独) 青森県産業技術センター
藤井 直哉	秋田県農業試験場
明星 亘俊	クミアイ化学工業(株)
渡辺 秀樹	岐阜県農業技術センター

[運営委員] (県政順)

栢森 美如	北海道立総合研究機構 十勝農業試験場
宮本 拓也	茨城県農業総合センター
三室 元気	富山県農林水産総合技術センター
近藤 賢一	長野県南信農業試験場
下元 祥史	高知県農業技術センター
菊原 賢次	福岡県農林業総合試験場

第 31 回殺菌剤耐性菌研究会シンポジウム講演要旨集

発行 令和 4 年 3 月 30 日

発行者 日本植物病理学会 増田 税

編集責任者 殺菌剤耐性菌研究会 鈴木 啓史